

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ
ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY
ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

FACULTY OF CHEMISTRY
INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF
ENVIRONMENTAL PROTECTION

POTENCIÁL ZNEUŽITÍ VÝROBKŮ CIVILNÍ PYROTECHNIKY

POTENTIAL FOR MISUSE OF PRODUCTS OF CIVIL PYROTECHNICS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

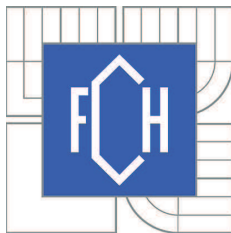
AUTHOR

PAVEL MATOUŠEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ NĚMČÁK, Ph.D.



Vysoké učení technické v Brně
Fakulta chemická
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

Zadání bakalářské práce

Číslo bakalářské práce:	FCH-BAK0704/2012	Akademický rok: 2012/2013
Ústav:	Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí	
Student(ka):	Pavel Matoušek	
Studijní program:	Ochrana obyvatelstva (B2825)	
Studijní obor:	Krizové řízení a ochrana obyvatelstva (2804R002)	
Vedoucí práce	Ing. Ondřej Němčák, PhD.	
Konzultanti:	Ing. Otakar Jiří Mika, CSc.	

Název bakalářské práce:

Potenciál zneužití výrobků civilní pyrotechniky

Zadání bakalářské práce:

Zpracujte literární rešerši na stanovené téma za posledních 12 až 15 let - využijte domácí a zahraniční informační prameny. Vypracujte podrobnou analýzu současného stavu trhu s civilní pyrotechnikou, proveďte analýzu dostupných výrobků a vytipujte výrobky s nejvyšším potenciálem a rizikovostí vzhledem k možnosti jejich zneužití k přípravě teroristických nebo kriminálních útoků v České republice. Na základě výsledků literárního průzkumu a provedených odborných konzultací vypracujte seznam rizikových výrobků. Nastiňte v čem jejich zvýšené riziko spočívá a proč.

Termín odevzdání bakalářské práce: 10.5.2013

Bakalářská práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu bakalářské práce. Toto zadání je přílohou bakalářské práce.

Pavel Matoušek
Student(ka)

Ing. Ondřej Němčák, PhD.
Vedoucí práce

doc. Ing. Josef Čáslavský, CSc.
Ředitel ústavu

V Brně, dne 31.1.2013

prof. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Práce se zabývá analýzou potenciálu zneužití výrobků zábavní pyrotechniky kategorií 1, 2 a 3. Byl vytvořen algoritmus výběru výrobků s největším potenciálem zneužití. Tento algoritmus byl následně experimentálně ověřen na běžně dostupné zábavní pyrotechnice. Dále byl proveden experiment replikující bombový útok v Bostonu a bylo zjištěno, že k tomuto útoku mohly být použity pyrotechnické složky, obsažené ve výrobcích zábavní pyrotechniky.

Abstract

This thesis analyses misuse potential of category 1, 2 and 3 firework's products. An algorithm for selection of pyrotechnic products with the biggest potential of misuse was created and experimentally tested on common firework products. An experiment replicating the Boston incident was also conducted. And in this experiment was found out, that pyrotechnical compositions used in common firework products could have been used.

Klíčová slova

Pyrotechnická složka, Zneužití, Zábavní pyrotechnika, Posouzení potenciální nebezpečnosti.

Keywords

Pyrotechnic composition, Misuse, Fireworks, Potential danger assesment.

MATOUŠEK, P. *Potenciál zneužití výrobků civilní pyrotechniky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2013. 53 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ondřej Němčák, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Ondřeje Němčáka, Ph.D. Dále prohlašuji, že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citoval. Bakalářská práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty Chemické VUT v Brně a může být použita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FCH. Dále prohlašuji, že se zcela distancuji od jakýchkoliv pokusů zneužívat výbušniny ke kriminálním nebo teroristickým aktům. Tato práce vznikla za účelem přesně opačným a jejím cílem je poukázat na potenciální, dosud volně dostupné, zdroje výbušných látek.

.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Ondřeji Němčákovi, Ph.D. za trpělivost při vysvětlování, odborné vedení, cenné rady a připomínky při zpracovávání tohoto tématu. Dále bych rád poděkoval pyrotechnikům Armády České republiky za pomoc při realizaci experimentů.

OBSAH

1	ÚVOD	7
1.1	Historie pyrotechniky	7
1.2	Současné rozdělení výbušnin	9
1.3	Popis tématu práce	11
2	TEORETICKÁ ČÁST	12
2.1	Kategorie a třídy civilní pyrotechniky.....	12
2.1.1	Rozdělení pyrotechnických výrobků do tříd dle vyhlášky ČBU 174/1992 Sb	12
2.1.2	Rozdělení pyrotechnických výrobků do kategorií dle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/23/ES.....	13
2.1.3	Pyrotechnické výrobky analyzované v této práci.....	14
2.1.4	Výčet výrobků zábavní pyrotechniky kategorie 1, 2 a 3 dle ČSN EN 15947-1 až 5	15
2.1.5	Srovnávací tabulka množství pyrotechnických složí podle ČSN EN 15947-5	20
2.1.6	Pyrotechnické výrobky pro airsoft a paintball („airsoftová pyrotechnika“)	22
2.2	Mimořádné události s civilní pyrotechnikou.....	24
2.2.1	S. E. Fireworks, Enschede, 13. 5. 2000.....	24
2.2.2	Výbuch auta se zábavní pyrotechnikou, Čína 1. 2. 2013	25
2.2.3	Exploze 100 mm kulové pumy na náměstí Svobody v Brně 1. 1. 2012	25
2.2.4	Bombový útok při maratonu, Boston, Massachusetts 15. 4. 2013.....	25
2.2.5	Zábavní pyrotechnika jako potenciální zdroj požáru	26
2.2.6	Požár tržnice Excalibur, Hatě 20. 12. 2006.....	27
2.2.7	Požár nočního klubu, Brazílie 27. 1. 2013	27
2.3	Analýza nebezpečnosti vybraných pyrotechnických výrobků	28
2.3.1	Pyrotechnické slože z pohledu vlastností a schopnosti hromadného výbuchu	28
2.3.1.1	Oxidovadla	29
2.3.1.2	Hořlaviny	30
2.3.1.3	Další nebezpečné komponenty složí zábavné pyrotechniky.....	30
2.3.1.4	Nebezpečné slože (schopné rychlé výbušné přeměny nebo detonace).....	31
2.3.2	Posouzení výrobku z hlediska hmotnostní koncentrace složí ve výrobku	36
2.3.3	Posouzení balení výrobků z hlediska vlivu na schopnost hromadného výbuchu.....	37
2.3.4	Cena výrobku jako faktor ovlivňující dostupnost	39
2.3.5	Způsob iniciace výrobků a zvýšení možných účinků výbuchu.....	39

3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	40
3.1	Experiment č. 1, posouzení nebezpečnosti výrobku zábavní pyrotechniky podle navrženého algoritmu	40
3.1.1	Posouzení podle algoritmu.....	40
3.1.2	Vlastní experiment	41
3.1.3	Zhodnocení experimentu č. 1	42
3.2	Experiment č. 2, zábavní pyrotechnika jako potenciální zdroj nebezpečných pyrotechnických složí.....	42
3.2.1	Popis experimentu.....	43
3.2.2	Zhodnocení experimentu č. 2.....	44
3.3	Dostupnost výrobků profesionální pyrotechniky	44
4	ZÁVĚR	46
5	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	47
6	PŘÍLOHY	51

1 ÚVOD

Jak je z názvu práce patrné, budeme se zabývat civilní pyrotechnikou, to znamená pyrotechnickými výrobky a produkty pro civilní sektor. Civilní pyrotechnika zahrnuje výrobky zábavní nebo technické pyrotechniky. Tato práce bude zaměřena na analýzu potenciálního nebezpečí, které tato pyrotechnika přináší. Dostupnost materiálů pro výrobu vysoce účinných náloží se snižuje, protože světový trend je mít vyšší kontrolu nad tržavinami, rozbuškami a chemikáliemi použitelnými pro jejich výrobu. Rovněž okruh lidí, kteří mají dostatečné znalosti pro jejich výrobu je omezený a tito lidé jsou již úřadům známí (registry střelníků, odpalovačů ohňostrojů, pyrotechniků, absolventů škol se zaměřením na výbušniny a munici, ženijních specialistů apod.) nebo jsou díky elektronickým stopám a vyhledávací technice dohledatelní. Na druhou stranu je problém o to větší, že na straně útočníků jsou odborníci, kteří mají jako náplň práce to, že vymýšlejí nové, účinnější, jednodušší a dostupnější nástrahy. Výsledkem jsou extrémně jednoduché návody realizovatelné téměř kdekoli ve světě s minimálními náklady a znalostmi v oboru. Rovněž dochází ze strany teroristů a extremistů k aplikování základních pravidel konspirace a tím se jejich stopování stává náročnějším. S rostoucími restrikcemi v daných oblastech je jasné, že jednoho dne dojde (pokud se tak již nestalo) i na takové zdroje výbušných látek, jakými jsou zábavní pyrotechnika, automobilní pyrotechnika a další běžné výrobky. Ačkoli jsou tyto výrobky primárně určeny pro technickou praxi či pro zábavu, mohou mít za určitých podmínek ničivý potenciál. Proto také vznikla tato práce, která se snaží navrhnout určitý postup pro posouzení potenciální nebezpečnosti těchto výrobků.

1.1 Historie pyrotechniky

Samotné slovo pyrotechnika vzniklo složením dvou řeckých slov a to slova *pyros*, které znamená oheň a slova *techné*, což znamená umění nebo též dovednost. Můžeme tedy hovořit také o „umění ohně“.

První dochované zmínky o použití zápalných zbraní s hořlavou směsí můžeme najít již v Mezopotámii koncem 3. tisíciletí před.n.l., kdy Sumerové používali zápalné směsi na bázi ropy nebo přírodního asfaltu. Ovšem za první pyrotechnickou směs a pravděpodobného předchůdce střelného prachu můžeme považovat až tzv. *řecký oheň*. Jeho přesné složení se sice nedochovalo, ale zmínky o jeho použití můžeme nalézt i v roce 360 před.n.l., kdy o něm psal jistý Aineiás Taktikos jako o neuhasitelném ohni [1]. Později se mu dostalo též názvu *samozápalný oheň*. Samozápalný proto, že směs obsahovala nehašené vápno, které při styku s vodou mělo pravděpodobně funkci zapalovače. Směs dále obsahovala síru, tekutý přírodní asfalt, pryskyřici a mnohdy i další složky. Řecký oheň se stal na delší dobu strategickou zbraní, jeho složení získalo mnoho modifikací a pro jeho použití byla konstruována různá plamenometná zařízení.

Kolem roku 500 n.l. byl na území Číny objeven nový typ hořlavé směsi, hodně podobné dnešnímu černému prachu. Vlastní černý prach pak byl objeven pravděpodobně začátkem 9. st. n. l. taktéž v Číně. S jeho objevem už je jen krůček k palným zbraním a raketám. Nikdo přesně neví, jak se dostal střelný prach do Evropy. Jedna teorie říká, že byl dovezen takzvanou „hedvábnou stezkou“, podle druhé ho dovezl italský cestovatel Marco Polo. Ať tak či onak, jisté je, že první dochované popisy zápalných směsí jsou v Evropě známy od

13. století. První opravdu účinnou recepturu černého prachu vytvořil německý filozof Albert Veliký, někdy kolem roku 1275 [1].

S objevem střelného prachu můžeme pyrotechniku rozdělit na vojenskou a civilní. Ačkoli je hranice mezi nimi mnohdy hodně tenká, v další části bude nahlédnuto na každou zvlášť.

Historie vojenské pyrotechniky

Objev černého prachu byl přelomový. Tato nejstarší známá výbušnina byla využívána jako zápalná látka, střelivina a později také jako trhavina (od 17. st). Své použití našla také ve vojenství, kdy byly v období středověku používány kromě jiného také rakety a vícehlavňové raketomety s motorem z černého prachu. Dominantní postavení černého prachu na poli pyrotechniky trvalo až do 19. st. Ačkoli byly jeho vlastnosti upraveny k dokonalosti, stále se nedařilo odstranit nebo alespoň potlačit nežádoucí produkci hustého dýmu při jeho hoření a jeho navlhavost. Z tohoto důvodu nastala poptávka po nevlhnoucích výbušninách s menší produkcí kouře a byl objeven tzv. bezdýmný prach. Jeho historie sahá do roku 1848 [2], kdy byla objevena nitrocelulóza (střelná bavlna), která hořela několikanásobně rychleji než černý prach a její hoření produkovalo mnohem méně dýmu. Bezdýmný prach pro vojenské účely vyrobil roku 1864 Němec Eduard Schultze a později jeho výrobu zdokonalil Francouz Paul Vieille.

Roku 1847 byl objeven kapalný nitroglycerin. Tuto vysoce výbušnou látku objevil Ital Ascanio Sobrero. Alfred Bernard Nobel Nitroglycerin dále zpracovával až do podoby dynamitu, ve které ho známe od roku 1866. Jednalo se o nitroglycerin vsáklý do infusoriové hlínky. Nástupcem dynamitu byla tzv. trhací želatina, látka bezpečnější, více odolná proti náhodnému výbuchu (patentováno roku 1875). Za účelem zvýšení bezpečnosti se v armádě začal též zavádět trinitrotoluen (TNT), který objevil Němec Joseph Wilbrand roce 1863 [3]. Šlo o bezpečnou výbušninu, která se dala tavit při nízkých teplotách, laborovala se do libovolných nádob a k iniciaci bylo potřeba silného počínu. Dochází také k vyvíjení pyrotechnických složí za účelem signalizace, osvětlení terénu, vytvoření zastíracího dýmu, pro letecké snímkování nebo do svítivých složí pro sledování dráhy střel a podobně. Na přelomu 19. a 20. st. nastává ve světě velký rozvoj výbušninářského průmyslu, ale to už by bylo mimo rámec úvodu a celé této práce.

Rozvoj pyrotechniky v průmyslu

Černý prach pronikl s rozvojem průmyslu zejména do hornictví, kde se začal používat pro účinné dobývání surovin nebo pro ražbu a úpravu chodeb. Pro své jedinečné vlastnosti se dodnes používá při těžbě v lomech, v případech, kdy je potřeba odlomit velký kamenný blok. Také se používá i jako střelivina pro signální a lovecké náboje pro použití v extrémně chladných oblastech [4].

Díky rozmachu výbušninářského průmyslu ve 20. století se výbušniny dostávají i do civilního sektoru. Používají se v hornictví, lomech, při demolicích, v automobilovém průmyslu a podobně. Například první airbag v dnešním slova smyslu byl vynalezen roku 1952[5] a masově se začal využívat koncem let sedmdesátých. Začátkem 20. st. objevil Němec Hans Goldschmidt [6] směs s vysokou teplotou hoření – Termit. Jde o směs práškového hliníku a oxidu železitého (nebo železnato-železitého) v poměru 25:75 [7].

Vyznačuje se poměrně vysokou teplotou hoření, zhruba 2 000 - 3 000 °C. S rozvojem železniční dopravy a potřebou provádění kvalitních svárů kolejnic přímo na trati se jeho užívání značně rozšířilo. Pro své vynikající zápalné vlastnosti se již v první světové válce laboroval do zápalných pum. Pyrotechnické výrobky a v malém množství i výbušniny najdeme také u filmu, kde se používají k imitacím výbuchů, postřelů, bitev a podobně.

Historie ohňostrojné pyrotechniky

I zde se vrátíme do Číny. Do směsi na bázi ledku, síry a akátových semínek byly doplňovány ke zbarvení plamene oxidy některých kovů. Tyto barevné ohně již můžeme považovat za první pyrotechnické efekty a základ ohňostrojů, o kterých se zmiňují čínské texty z roku 605 - 616 n. l. [1]. S vynálezem černého prachu došlo k rozmachu rozvoje a výroby ohňostrojů v 10. a 11. st. n. l. Byly vytvořeny různé druhy efektů, mezi nimi také rakety, jejichž pouzdro bylo nejdříve vyráběno z bambusu, později z papíru.

Rozšířením vynálezu černého prachu po světě, dostalo se i Evropanům díky Marco Polovi možnosti obdivovat krásu ohňostrojů. První ohňostroje se objevují začátkem 16. st. v sídlech panských mocnářů. K jejich výraznému rozvoji však dochází v 17. a 18. st. v období baroka na sídlech králů a šlechty u příležitosti svateb a jiných oslav.

Na území Japonska se černý prach dostal s příchodem Portugalců. Ačkoli se tak stalo až někdy kolem roku 1543, stali se Japonci mistry ohňostrojného řemesla. Ohňostroje nazývají Hanabi což znamená ohnivý květ, a dovedli jejich výrobu doslova až k umění.

Za účelem snížení produkce kouře se začaly používat v ohňostrojné pyrotechnice slože na bázi nitrocelulózy. Také zde našly své uplatnění pyrotechnické slože používané v armádě pro imitaci a světelnou signalizaci (zábleskové slože pro petardy, slože pro světlice apod.). Jinými slovy si dnes můžeme v ohňostrojné pyrotechnice vybrat ze široké škály výrobků, od jednoduchých petard či římských svící, až po propracované (ať už japonské kulové, nebo italské válcové) pumy určené pro profesionální použití.

1.2 Současné rozdělení výbušnin

Výbušninami nazýváme látky, které jsou schopny chemického výbuchu. Vzhledem k široké škále výbušnin a účelu jejich použití je v naší zemi dělíme nejčastěji do těchto čtyř skupin:

- trhaviny
- třaskaviny
- střeliviny
- pyrotechnické slože

Trhaviny

Jsou výbušniny charakteristické tím, že hlavním typem jejich chemické přeměny je detonace. Existuje několik různých definic detonace, a proto si uvedeme jednu z jednodušších. Detonace je proces, při kterém se náhle uvolňuje chemická energie za tvorby rázové vlny, která se šíří nadzvukovou rychlostí [47]. Při výbuchu dochází ve zlomku vteřiny k uvolnění velkého množství energie a vytváří se velký objem horkých plynů, které konají práci. Trhaviny jsou poměrně málo citlivé k počátečním impulsům. Aby byla vyvolána jejich detonace, je potřeba použít silný podnět, například rozbušku. Je také možné mezi rozbušku

a trhavinu vložit mezičlánek v podobě počínové nálože (například při těžbě v lomech). Vzhledem k tomu, že se k iniciaci trhaviny používá jiných typů výbušnin (třaskaviny), jsou trhaviny nazývány také jako sekundární výbušniny. Výjimku tvoří černý prach. Ten řadíme mezi trhaviny přesto, že k aktivaci rozbušku nepotřebuje a ani nedetonuje. Trhaviny se v průmyslu používají při důlním i pozemním dobývání, při terénních úpravách, výbuchovém tváření kovů, demolicích a podobně. V armádě jsou plastické trhaviny ve výbavě ženijních a speciálních jednotek, jiné trhaviny se používají k plnění těl granátů, minometných střel a podobně [4].

Třaskaviny

Jsou podobně jako trhaviny charakteristické hlavním typem výbušné přeměny, kterou je detonace. Na rozdíl od jiných výbušnin jsou ale velice citlivé k počátečním impulzům (zážeh, tření, nápich apod.) a téměř okamžitě jsou schopny přejít do detonace. Díky těmto vlastnostem jsou využívány jako primární náplně do rozbušek nebo v třaskavých složích do roznětek, zápalek a do dalších iniciátorů. Rozbušek se využívá k vyvolání výbušné přeměny u trhaviny. Zápalky tvoří důležitou část munice (ať už lovecké, pěchotní atd.), neboť třaskavá slož (aktivovaná úderem úderníku) v zápalcé předá iniciační impuls prachové náplni náboje a tím dojde k jejímu zažehnutí [4].

Střeliviny

Jsou výbušniny charakteristické tím, že hlavním typem výbušné přeměny je explozivní hoření. To znamená, že rychlost výbuchové přeměny probíhá při rychlostech řádově stovek m/s. Při hoření vzniká velké množství horkých plynů (z 1 kg zhruba 10 m³ horkých plynů). Energie střelivin se využívá dvěma způsoby. U prvního z nich se udělí střele požadovaná rychlost tím, že plynné zplodiny působí na její dno, u druhého způsobu střelivina shoří ve spalovací komoře a plynné zplodiny jsou odváděny tryskou raketového motoru ven. Tím dojde ke vzniku reaktivní síly a raketová střela se dá do pohybu. Tento typ střelivin můžeme zařadit mezi raketové pohonné hmoty. Nejstarší známou střelivinou je černý prach, který bývá historicky pro své jedinečné vlastnosti zařazován jednak mezi střeliviny, trhaviny, ale také pyrotechnické slož [8].

Pyrotechnické slož

Kapalné a tuhé směsi oxidovadel a paliv, které společně po vhodné iniciaci exotermicky reagují, nazýváme pyrotechnické slož. Jejich základem jsou dvě složky (palivo a oxidovadlo). Podrobněji se jimi budeme zabývat v jiné kapitole této práce (č. 2. 3. 1). Pro úvod můžeme napsat, že tyto slož mohou nabývat vlastností všech dříve uvedených skupin (trhavin, třaskavin nebo střelivin) podle toho, jaké oxidovadlo, palivo a způsob iniciace zvolíme. Jsou také pyrotechnické slož, co některé nebezpečné vlastnosti výbušnin nevykazují vůbec. Jiné jsou naopak velmi nebezpečné a detonují. Například pyrotechnické směsi chlorečnanu (draselného nebo sodného) s organickými palivy (vosk, petrolej) se používaly pod souhrnným názvem „chlorátové trhaviny“ ve Francii a dalších zemích [4].

1.3 Popis tématu práce

Práce se zabývá potenciálem zneužití pyrotechnických výrobků, konkrétně všeobecně dostupných výrobků zábavní pyrotechniky. V první části kapitoly 2. 1 jsou uvedeny současné právní předpisy, které danou oblast upravují, ať již jsou to směrnice EU, zákony nebo vyhlášky. Následuje rozdělení pyrotechnických výrobků do tříd podle vyhlášky č.174/1992 Sb. a také do kategorií, podle ČSN EN 15947–1 až 5. Poté jsou uvedeny typy jednotlivých výrobků se stručným popisem funkce, které upravuje norma ČSN 15947. Je představena airsoftová pyrotechnika a uveden základní popis jejich výrobků. V kapitole 2. 2 jsou zmíněny některé mimořádné události s civilní pyrotechnikou a tím nastíněn její možný ničivý potenciál. Další kapitola se věnuje analýze nebezpečnosti vybraných pyrotechnických výrobků. Je zde navrhnout a popsán algoritmus hodnocení potenciální nebezpečnosti výrobků zábavní pyrotechniky. V experimentální části je následně funkčnost algoritmu ověřena výběrem výrobku, návrhem testu a potvrzena experimentem.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Kategorie a třídy civilní pyrotechniky

V České republice se v době vzniku této práce vyskytují na trhu výrobky zařazené podle původních českých předpisů a také výrobky kategorizované již podle nově zaváděných předpisů Evropské unie. Rozdělení pyrotechnických výrobků do tříd a podtříd upravuje vyhláška Českého báňského úřadu č.174/1992Sb. o pyrotechnických výrobcích a zacházení s nimi [9]. Nové předpisy, které postupně nahrazují národní předpisy v členských zemích, dělí pyrotechnické výrobky do kategorií, které nejsou totožné s českými třídami a podtřídami. Jedná se zejména o Směrnici evropského parlamentu a Rady číslo 2007/23/ES [10]. Směrnice EU je základním předpisem, který ke své aplikaci potřebuje národní transpozice, prováděcí předpisy a harmonizované EN normy. V České republice jde o zákon č.156/2000Sb. o ověřování střelných zbraní, střeliva a pyrotechnických předmětů, ve znění pozdějších předpisů [11], Nařízení vlády č.208/2010 Sb., o technických požadavcích na pyrotechnické výrobky a jejich uvádění na trh [12], normy řady ČSN EN 15947–1 až 5 Pyrotechnické výrobky – Výrobky zábavní pyrotechniky, kategorie 1,2 a 3 [13] a ČSN EN 16261–1 až 4 Pyrotechnické výrobky – Výrobky zábavní pyrotechniky kategorie 4 [14]. Divadelní pyrotechnické výrobky dále upravuje ČSN EN 16256–1 až 5 [15]. (další normy nebyly v době tvoření této práce schváleny jako ČSN). Ostatní pyrotechnické výrobky upravuje evropská norma EN 16263–1 až 7 [16] a Pyrotechnické výrobky pro automobily upravuje evropská norma EN 14451–1 až 10 [17]. Skupina norem, která vymezuje požadavky na zažehovací zařízení (palník, stopina apod.) má označení EN 16265 [18].

2.1.1 Rozdělení pyrotechnických výrobků do tříd dle vyhlášky ČBU 174/1992 Sb

Tato vyhláška dělí pyrotechnické výrobky na pyrotechnické a výbušné předměty. Výbušné předměty jsou velice specifické pyrotechnické výrobky, jejichž nebezpečnost je natolik vysoká, že se na ně v některých ohledech nahlíží jako na výbušniny ve smyslu zákona 61/1988 Sb. (povinnost skladování ve schválených skladech výbušnin apod.) [19]. Skupinu pyrotechnických předmětů tvoří pyrotechnické předměty pro zábavné a technické účely.

Pyrotechnické předměty pro zábavné účely jsou rozděleny do tříd. Jednotlivé třídy určují množství pyrotechnické složky, potenciální nebezpečnost pyrotechnických výrobků, taktéž věkovou hranici, či technickou specializaci (průkaz odpalovače ohňostrojů) pro nákup výrobků. Podmínky pro jejich nákup jsou následující:

- Třída I: se může prodávat osobám mladším 18 let, pokud to není návodem omezeno, či určeno jinak a výrobky mohou obsahovat v jednom kuse maximálně 3 g všech pyrotechnických složek. Do této třídy patří například bouchací kuličky, fontány, vystřelovací konfety a podobně.
- Třída II: zde je minimální věková hranice 18 let. Výrobky mohou obsahovat v jednom kuse maximálně 50 g a skládané výrobky 200 g všech pyrotechnických složek. Výrobky této třídy jsou například římské svíce, fontány, gejzíry, rakety, barevné dýmy a další.

Třída III: tyto pyrotechnické výrobky mohou být prodávány pouze osobám s kvalifikací odpalovače ohňostrojů, také pouze on může tyto výrobky odpalovat, případně likvidovat. Výrobky mohou obsahovat v jednom kuse maximálně 250 g, skládané výrobky 800 g a u ohněpádů 1 200 g všech pyrotechnických složek. V této třídě jsou například kulové pumy do kalibru 100 mm, dělové rány, ohněpády, japonská slunce a podobně.

Pyrotechnické výrobky pro technické účely jsou také rozděleny, tentokrát do podtříd a to T₀ a T₁.

Podtřída T₀: patří volně dostupným výrobkům s nízkou nebezpečností, jako jsou například podpalovače, či dýmové prostředky proti hlodavcům.

Podtřída T₁: je obdobou třídy II, takže věková hranice pro jejich nákup je 18 let a mezi jejími zástupci patří signální prostředky, dýmovnice, motorky pro raketové modeláře, některé prostředky pro film a divadlo a podobně. Také sem náleží pomocný materiál pro ohňostroje, jakým je elektrický palník, stopina nebo časovací zápalnice, zpoždovače a podobně.

Skupina výbušných předmětů zahrnuje všechny pyrotechnické předměty, které minimálně jedním parametrem překračují klasifikaci pyrotechnických předmětů třídy III. Do této skupiny náleží:

Třída IV: tyto pyrotechnické výrobky může pořizovat, odpalovat a likvidovat opět odpalovač ohňostrojů na základě odběrného povolení schváleného Báňským úřadem. Typický představitel výrobků této třídy jsou dělové rány, kulové a válcové pumy kalibru 125 mm a více.

Podtřída T₂: výbušné předměty této podtřídy odpovídají třídě IV a jsou to například nosné rakety prostředků proti kroupám, vrhače lan a podobně.

Na výbušné předměty třídy IV a podtřídy T₂ se také vztahují předpisy o výbušninách [9].

2.1.2 Rozdělení pyrotechnických výrobků do kategorií dle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/23/ES

Tyto nové evropské předpisy postupně nahrazují národní předpisy členských zemí, a proto jsou pro potřeby této práce velmi důležité. Pokud již je pyrotechnický výrobek schválen dle nové evropské legislativy, vztahuje se na něj právě tato směrnice, respektive národní předpisy, do kterých byla transponována. V České republice jde o nařízení vlády č. 208/2010 Sb., o technických požadavcích na pyrotechnické výrobky a jejich uvádění na trh [12]. Pyrotechnické výrobky rozdělujeme na zábavní a divadelní pyrotechniku a na ostatní pyrotechnické výrobky.

Zábavní pyrotechnika je zde rozdělena do čtyř kategorií (nikoli tříd), na kategorii 1, 2, 3 a kategorii 4, tzv. profesionální pyrotechniku. Ačkoli jsou minimální věkové hranice dle směrnice 2007/23/ES pro první tři kategorie zábavní pyrotechniky 12, 16 a 18 let, tak v souladu s článkem 7(2) této směrnice, si může každý členský stát tyto hranice zvýšit. V České republice upravuje věkové hranice zákon č. 156/2000 Sb., §14 a to pro první tři kategorie na 15, 18 a 21 let [11]. Technické požadavky na pyrotechnické výrobky kategorie 1 až 3 upřesňuje norma ČSN EN 15947-1 až 5 [13].

- Kategorie 1: do této kategorie patří pyrotechnika, včetně výrobků určených pro použití uvnitř obytných prostor, která představuje velmi malé nebezpečí a má velmi nízkou úroveň hluku. Je určena pro použití v omezených prostorech. Minimální věková hranice pro nákup zábavní pyrotechniky kategorie 1 je 15 let.
- Kategorie 2: do této kategorie náleží pyrotechnika představující malé nebezpečí s nízkou úrovní hluku, určená pro použití v omezených venkovních plochách. Minimální věková hranice pro nákup zábavní pyrotechniky kategorie 2 je 18 let.
- Kategorie 3: v této kategorii se nachází výrobky zábavní pyrotechniky představující středně velké nebezpečí a jsou určeny pro venkovní použití v otevřeném prostranství s úrovní hluku nepoškozující zdraví člověka. Minimální věková hranice pro nákup zábavní pyrotechniky kategorie 3 je 21 let.
- Kategorie 4: zde najdeme zábavní pyrotechniku představující velké nebezpečí, která je určena pouze pro osoby s odbornou kvalifikací, s úrovní hluku nepoškozující zdraví člověka. Technické požadavky na pyrotechnické výrobky kategorie 4 upřesňuje Česká technická norma ČSN EN 16261–1 až 4 [14]. Odpalovač ohňostrojů u nás v tuto chvíli nesplňuje kritéria pro osobu s odbornou kvalifikací a osnovy školení pro tyto osoby jsou ve fázi schvalování.

Divadelní pyrotechnika v sobě zahrnuje pyrotechnické výrobky používané na filmových scénách v interiérech i exteriérech a v divadle. Rozděluje se na kategorie T₁ a T₂. Technické požadavky na divadelní pyrotechniku upřesňuje Česká technická norma ČSN EN 16256 1 až 5 [15].

Kategorie T₁: zahrnuje divadelní pyrotechniku představující malé nebezpečí s ohledem na zdraví člověka. Výrobky této kategorie jsou prodejné od 21 let.

Kategorie T₂: zahrnuje pyrotechniku dostupnou pouze osobám s odbornou kvalifikací.

Ostatní pyrotechnické výrobky je název kategorie, do které náleží všechny pyrotechnické výrobky nespádající do kategorií zábavní a divadelní pyrotechniky. Zejména jsou tím myšleny pyrotechnické výrobky pro použití ve vozidlech a výrobky tzv. technické a průmyslové pyrotechniky. Rozděluje se na kategorie P₁ a P₂. Ostatní pyrotechnické výrobky řeší evropská norma EN 16263–1 až 7 [16].

Kategorie P₁: zahrnuje ostatní pyrotechnické výrobky představující malé nebezpečí s ohledem na zdraví člověka. Výrobky této kategorie jsou prodejné od 21 let.

Kategorie P₂: zahrnuje ostatní pyrotechnické výrobky určené k používání pouze osobami s odbornou kvalifikací.

2.1.3 Pyrotechnické výrobky analyzované v této práci

Pro další analýzu jsou vybrány výrobky zábavní pyrotechniky kategorie 1, 2 a 3 a pyrotechnické výrobky pro airsoft a to z těchto důvodů:

- snadná dostupnost
- potenciálně nebezpečné konstrukční řešení
- prodej v neomezeném množství
- pyrotechnické výrobky obsahují potenciálně nebezpečné pyrotechnické složky

Podle databáze zahraničního obchodu Českého statistického úřadu se do České republiky dovezlo z Číny (bráno jako hlavního výrobce a vývozce zábavní pyrotechniky) v časovém rozmezí od 1. 1. 2012 do 31. 12. 2012 celkem 4 250 tun výrobků zábavní pyrotechniky. V celním sazebníku má toto zboží kód 3604 10 00 a název Pyrotechnické výrobky pro zábavu. Pod tímto názvem jsou zahrnuty pyrotechnické výrobky kategorie 2, 3 a kategorie 4. Vezmeme-li v úvahu, že podíl dovezených profesionálních ohňostrojných výrobků je nesrovnatelně menší, řekněme tak 1/4 z dovezeného množství, stále nám zbude zhruba 3 180 tun výrobků kategorie 2 a 3. Pokud budeme konzervativně uvažovat, že v jednom kilogramu výrobku je zhruba 10 % aktivního obsahu, dosáhneme celkového objemu 318 tun pyrotechnických složí. Naprostá většina z těchto pyrotechnických složí jsou přímé výbušniny (např. černý prach, záblesková slož), které nepotřebují k aktivaci rozbušku, neboť jim k iniciaci stačí jednoduché podněty (plamen, tření apod.).

Pyrotechnické výrobky pro airsoft nepředstavují svoje nebezpečí v množství či druhu pyrotechnických složí v nich obsažených, ale spíše z hlediska jejich konstrukčního řešení (nášlapná mina, granát s pákovým zapalovačem a jiné). Tyto výrobky je možné jednoduchým způsobem upravit tak, aby po jejich iniciaci došlo k destruktivním účinkům v jejich blízkém i vzdálenějším okolí. Prodej těchto pyrotechnických výrobků a výrobků kategorie 1, 2 a 3 je omezen pouze dosažením určité věkové hranice.

Dostupnost ostatních výrobků civilní pyrotechniky (automobilní, technická apod.) je značně omezena. Tyto výrobky jsou také nesrovnatelně dražší, než výrobky zábavní pyrotechniky. Většinou se jedná o speciální výrobu v řádech několika tisíc kusů a dané výrobky jsou distribuovány v uzavřeném kruhu (většinou jdou od výrobce rovnou ke spotřebiteli v přesně určeném řetězci dodavatelů). Navíc potenciál zneužití automobilní pyrotechniky již byl řešen a prezentován na setkání pyrotechniků s mezinárodní účastí INMEP v Boleticích v roce 2008 [20].

2.1.4 Výčet výrobků zábavní pyrotechniky kategorie 1, 2 a 3 dle ČSN EN 15947-1 až 5

Bylo rozhodnuto použít tuto normu, neboť již je a bude v České republice nadále platná a zahrnuje v sobě názvy a definice výrobků zábavní pyrotechniky. Je v ní uvedeno názvosloví platné v celé Evropské Unii. Definuje i výrobky v České republice netypické, které se však běžně používají v jiných zemích Evropské Unie. U výrobku je uveden jeho název a původní název v anglickém jazyce, kategorie, ve které je zařazen, jeho stručný popis a maximální množství složí, které může výrobek v dané kategorii obsahovat.

Výškové stoupací efekty (Aerial wheels) kategorie 3

Trubice obsahující hnací, efektové nebo fonetické pyrotechnické složky, vytvářející jiskry, plameny, nebo zvukové efekty. Trubice jsou připevněny k opěrnému vodícímu kruhu. Například efekt s názvem „UFO“. Výrobek může obsahovat maximálně 160 g všech pyrotechnických složí a sestava může být sestavena maximálně z osmi samostatných dílů. Maximální hmotnost pyrotechnických složí v jednom dílu tedy nesmí přesáhnout hmotnost 20 g. Z toho však pro zvukové efekty maximálně 10 g střelného prachu, nebo 4 g složky dusičnan / kov, anebo 2 g zábleskové složky chloristan/kov.

Petardy a dělobuchy (Bangers) kategorie 2 a 3

Nekovová trubice, většinou z vinuté papírové lepenky plněná složí střelného prachu. Maximální množství slože je 6 g pro kategorii 2 a 10 g pro kategorii 3.

Baterie a kombinace (Batteries and combination) kategorie 2 a 3

Jedná se o papírové trubice s výmetnou a efektovou složí, vzájemně propojené zpoždovací zápalnou šňůrou, která zabezpečuje jednotlivé odpalování efektů. Baterie obsahuje sestavu totožných efektů, kdežto u kombinací se mohou jednotlivé efekty v sestavě měnit.

Pro kategorii 2 platí: množství pyrotechnických složí obsažených v baterii nesmí přesáhnout 500 g, pokud je v sestavě zahrnuta i fontána, tak v tom případě je maximální obsah složí 600 g (obsah složí bez fontány maximálně 500 g). Petardy v efektové části mohou obsahovat maximální celkové množství složí střelného prachu 100 g a zábleskových složí 25 g.

Pro kategorii 3 platí: množství pyrotechnických složí obsažených v baterii nesmí přesáhnout 1 000 g, pokud je v sestavě zahrnuta i fontána, tak v tom případě je maximální obsah složí 3 000 g (obsah složí bez fontány maximálně 1 000 g). Petardy v efektové části mohou obsahovat maximální celkové množství složí černého prachu 1 000 g a zábleskových složí 250 g.

Bengálské ohně (Bengal flames) kategorie 1, 2 a 3

Bengálské ohně při hoření vydávají plamen o různém zbarvení dle provedení pyrotechnické slože. Většinou jsou laborovány do papírových trubíc různých velikostí, iniciovány jsou buď plamenem přes přiloženou zápalnici nebo elektrickým palníkem. Maximální množství složí pro kategorii 1 je 20 g, pro kategorii 2 je 250 g a pro kategorii 3 je 1000 g.

Bengálské zápalky (Bengal matches) kategorie 1

Jedná se o klasické zápalky, které mají za hlavičkovou (zápalkovou) složí ještě slož efektovou, která hoří plamenem různé barvy, dle příměsí pyrotechnické slože. Dají se sem zařadit i větru vzdorné a pyrotechnické zápalky. Maximální množství složí je 3 g na jednu zápalku.

Bengálské tyčinky (Bengal sticks) kategorie 1 a 2

Nekovová tyčinka, většinou dřevěná, z jedné strany částečně pokrytá pomalu hořící pyrotechnickou složí, která je určena k držení v ruce. Stejný princip jako prskavky. Maximální množství pyrotechnických složí pro kategorii 1 je 7,5 g a pro kategorii 2 je 50 g.

Vánoční petardy (Christmas crackers) kategorie 1

Dalo by se to přeložit také jako vánoční křupnutí nebo prásknutí. Jedná se o trubici z tvrdého papíru, která je vánočně zabalena. Vzhled výrobku připomíná bonbón. Uvnitř je kromě malého dárku jako překvapení, také malá kapsle s pyrotechnickou složí, která se iniciuje zatáhnutím za oba konce bonbónu. Maximální obsah složí ve výrobku je 16 mg slože na bázi chlorečnan draselný/červený fosfor, anebo 1,6 mg třaskavého stříbra. V naší zemi zatím nejsou tyto výrobky příliš rozšířeny.

Práskací granule, kuličky (Crackling granules) kategorie 1 a 2

Jedná se o lisované světličky zabalené v papíru,lobalu či v plastovém obalu s připevněnou zelenou stopinou. Po iniciaci dochází ke světelnému i zvukovému efektu, tzv. práskání. Maximální obsah složí pro kategorii 1 je 3 g a pro kategorii 2 je 15 g.

Dvojitá petarda (Double bangers) kategorie 2

Nekovová trubice, většinou z vinuté papírové lepenky plněná složí černého prachu. Vydává dva zvukové efekty s určitým zpožděním. Maximální množství černého prachu ve výrobku je 10 g.

Zábleskové petardy (Flash bangers) kategorie 2 a 3

Dutinky z vinutého papíru jsou laborovány zábleskovou složí. Většinou se jedná o dvou maximálně však trojsložkové směsi na bázi oxidovadla a práškového kovu. Zajímavé je srovnání limitů, které určuje naše vyhláška 174/1992 Sb. a norem Evropské unie. Zatímco naše vyhláška povoluje pouze 0,4 g výbuškových (zábleskových) složí, norma EU ČSN EN 15947–5 povoluje 5 g zábleskové složky v jednom výrobku.

Pro kategorii 2 platí: maximální množství pyrotechnické složky na bázi dusičnan/kov 1 g a pro slož na bázi chloristan/kov 0,5 g.

Pro kategorii 3 platí: maximální množství pyrotechnické složky na bázi dusičnan/kov 10 g a pro slož na bázi chloristan/kov 5 g.

Záblesková tělíška (Flash pellets) kategorie 1 a 2

Lisované nebo lité světličky. Po iniciaci dochází při hoření k intenzivním zábleskům, většinou bez zvukového efektu. V našich podmínkách též známé jako „strobo“. Maximální množství složky pro kategorii 1 je 2 g a pro kategorii 2 je 30 g.

Fontány (Fountains) kategorie 1, 2 a 3

Jedná se většinou o papírové pouzdro buď válcového tvaru opatřené tryskou nebo ve tvaru kužele, kde vlastní tvar pouzdra a zvyšující se množství odhořívající složky trysku vytváří. Obsahuje slisovanou nebo hutnou pyrotechnickou složku vytvářející jiskry a plamen. Maximální množství složky pro kategorii 1 je 7,5 g, pro kategorii 2 je 250 g z toho fonetické složky 5 g a pro kategorii 3 je to až 1000 g složky, z toho fonetické složky 20 g.

Pozemní pohyblivé efekty (Ground movers) kategorie 2

Jedná se většinou o papírové hračky (tanky, autíčka apod.), které jsou osazeny určitým pyrotechnickým výrobkem, například tryskou pro umožnění pohybu a podobně. Při zapálení dochází k pohybu hračky na zemi s emisí jisker nebo plamenů, s nebo bez zvukových efektů. Celkové množství složky nesmí být větší než 25 g.

Pozemní rotační efekty (Ground spinners) kategorie 1 a 2

Malé pozemní rotující efekty, v našich podmínkách známé jako Čmelák, Sršeň, Ufo nebo též Čertovo kopyto, Shogun a podobně. Jsou plněny složí, jejíž unikající zplodiny hoření, obal

roztáčí a vytváří tak efektní rotace. Maximální množství slože pro kategorii 1 je 5 g a pro kategorii 2 je 25 g.

Prskavky (Sparklers) kategorie 1 a 2

Pod jednotný název patří jednak prskavky pro držení v ruce a též prskavky dekorální například ve tvaru číslic nebo písmen (non-hand-held sparklers), které se umístí například do dekorace. Maximální množství slože pro kategorii 1 je 7,5 g a pro kategorii 2 je to 50 g na jeden výrobek.

Žabky (Jumping crackers) kategorie 2

Výrobek ze skládaného papíru s duší z černého prachu. Po iniciaci poskakuje na zemi za doprovodu poměrně silného zvukového efektu. Maximální množství střelného prachu je 10 g.

Skákací a rotující efekty (Jumping ground spinners) kategorie 2

Jedna nebo více nekovových trubíc (papír nebo plast), s pyrotechnickou složí vytvářející plyny nebo jiskry. Může být použita i slož vytvářející akustický efekt. K trubici mohou být připevněna křídélka. Maximální množství slože je 25 g.

Miny (Mines) kategorie 2 a 3

Trubice z vinutého papíru nebo plastu, která obsahuje výmetnou a efektovou slož. Je určena pro umístění na pevnou podložku, nebo pro připevnění k zemi. Jedná se o jednorázový efekt, bez možnosti přebíjení. Může obsahovat jak vizuální, tak akustický efekt, či jejich kombinace.

Pro kategorii 2 platí: maximální množství slože 50 g, výrobek může být tvořen maximálně z pěti pyrotechnických dílů, každý jeden díl může obsahovat maximálně 5 g černého prachu nebo 2 g slože dusičnan/kov, anebo 1 g zábleskové slože chloristan/kov.

Pro kategorii 3 platí: maximální množství slože 200 g, výrobek může být tvořen maximálně z 25 pyrotechnických dílů, každý jeden díl může obsahovat maximálně 5 g černého prachu nebo 2 g slože dusičnan/kov, anebo 1 g zábleskové slože chloristan/kov.

Malé rakety (Mini rockets) kategorie 2

Jedná se většinou o lepenkové, nebo plastové komory opatřené tryskou a vybavené dřevěným stabilizátorem letu. Trubice obsahuje pyrotechnickou efektovou nebo zvukovou slož, ale její množství je omezeno. Jednotlivý výrobek může obsahovat celkem 1,5 g slože, z toho efekťová slož pro zvukový efekt max. 0,13 g.

Rakety (Rockets) kategorie 2 a 3

Převážně lepenkové nebo plastové komory opatřené tryskou a vybavené dřevěným stabilizátorem letu. Trubice obsahuje pyrotechnickou efektovou nebo zvukovou slož.

Pro kategorii 2 platí: maximální množství slože 75 g, z toho maximálně 10 g černého prachu nebo 4 g slože dusičnan/kov a nebo 2 g zábleskové slože chloristan/kov.

Pro kategorii 3 platí: maximální množství slož 200 g, z toho maximálně 50 g černého prachu nebo 20 g slož dusičnan/kov a nebo 10 g zábleskové slož chloristan/kov.

Originální zápalky (Novelty matches) kategorie 1

Jedná se o klasické zápalky (dárkové, reklamní) v netradičním, originálním provedení, např. jiná barva hlaviček, netradiční krabička a podobně. Mohou obsahovat pyrotechnickou slož pro efekt. Maximální obsah slož je 0,05 g na jednu zápalku.

Pyrotechnika pro oslavy (Party poppers) kategorie 1

Souhrnný název pro pyrotechniku na oslavu a párty. Od tzv. „šampusek“ se třecím zapalovačem, až po větší konfety. Mohou obsahovat maximálně 0,016 g slož na bázi chlorečnan draselný/červený fosfor.

Římské svíce (Roman candles) kategorie 2 a 3

Trubice z vinutého papíru obsahující řadu pyrotechnických dílů. Tvoří ji pyrotechnická efektová slož, výmetná slož a přenosová zápalnice. Tyto díly se vzájemně střídají. Vnitřní průměr trubice nesmí překročit 30 mm.

Pro kategorii 2 platí: maximální množství slož 50 g, výrobek může být tvořen maximálně z pěti pyrotechnických dílů, každý jeden díl může obsahovat maximálně 10 g černého prachu nebo 4 g slož dusičnan/kov a nebo 2 g zábleskové slož chloristan/kov.

Pro kategorii 3 platí: maximální množství slož 250 g, výrobek může být tvořen maximálně z 10 pyrotechnických dílů, každý jeden díl může obsahovat maximálně 20 g černého prachu nebo 8 g slož dusičnan/kov a nebo 4 g zábleskové slož chloristan/kov.

Hadi (Serpents) kategorie 1

Bohužel se mi nepovedlo nalézt odpovídající pyrotechnický výrobek, tak se budu držet pouze popisu dle textu normy. Mělo by se jednat o předem vytvarovanou pyrotechnickou slož, jejíž množství nesmí přesáhnout 3 g (mohlo by se jednat o efekt s názvem Faraonovi hadi).

Vystřelovací trubice (Shot tubes) kategorie 2 a 3

V České republice vžitý název jednoranná římská svíce nebo též „single shot“. Jedná se o trubici z vinutého papíru nebo plastu, která obsahuje výmetnou a efektovou slož. Je určena pro umístění na podložku nebo pro připevnění k zemi. Jedná se o jednorázový efekt bez možnosti přebíjení. Může obsahovat jak vizuální, tak akustický efekt, či jejich kombinace.

Pro kategorii 2 platí: maximální množství slož 25 g, z toho maximálně 10 g černého prachu nebo 4 g slož dusičnan/kov a nebo 2 g zábleskové slož chloristan/kov.

Pro kategorii 3 platí: maximální množství slož 40 g, z toho maximálně 20 g černého prachu nebo 8 g slož dusičnan/kov a nebo 4 g zábleskové slož chloristan/kov.

Bouchací provázky (Snaps) kategorie 1

Klasické bouchací provázky. Dva proužky lepenky nebo dva provázky spojeny složí citlivou ke tření, zabaleny v papíru s hrubým povrchem. Používá se také jako pyrotechnická část

výrobku s názvem Christmas cracker. Maximální množství slože citlivé ke tření (např. chlorečnan / červený fosfor) ve výrobku je 16 mg.

Létající rotační efekty (Spinners) kategorie 2

Jedna nebo více nekovových trubic (papír nebo plast), s pyrotechnickou složí vytvářející plyny nebo jiskry. Může být použita i slož vytvářející akustický efekt. Ke trubici mohou být připevněna křídélka. Maximální množství slože je 30 g.

Stolní bomby (Table bombs) kategorie 1

Interiérový efekt pro párty. Obsahuje pouze pyrotechnickou výmetnou slož a nepyrotechnickou efektovou náplň, například konfety, či jiné párty předměty. Maximální množství slože ve výrobku je 2 g nitrocelulózy.

Bouchací kuličky (Throwdowns) kategorie 1

K nárazu citlivá pyrotechnická slož a granule inertního materiálu (např. zrna písku) zabaleny do hedvábného papíru nebo folie. Hozením o tvrdou podložku dojde k ráně malé intenzity. Maximální obsah slože je 2,5 mg. Dříve se používalo třaskavé stříbro, v současné době se používá spíše slož na bázi chloristanu a červeného fosforu.

Slunce (Wheels) kategorie 2 a 3

Sestava papírových dutinek vzájemně propojených zpoždovací šňůrou, naplněných efektovou a hnací složí, připevněny na kulatém rámu, který je upravený tak, aby se celá sestava mohla otáčet kolem své osy. Pro kategorii 2 je maximální celkové povolené množství slože 100 g, z toho fonetické slož 5 g na jeden díl. Pro kategorii 3 je 900 g, z toho fonetické slož maximálně 20 g na jeden díl.

2.1.5 Srovnávací tabulka množství pyrotechnických složí podle ČSN EN 15947-5

Tato norma definuje maximální celkový obsah pyrotechnické slož ve výrobku a dále jaký maximální podíl z tohoto obsahu může zaujmout černý prach, slož dusičnan (chloristan)/kov (zábleskové slož), slož fonetické a slož chlorečnan draselný/červený fosfor (třecí slož). Pro porovnání jsou uspořádány do tabulky 1 tak, aby vynikl markantní rozdíl v použitém množství slož u jednotlivých výrobků. Některé používané pyrotechnické slož, včetně jejich vlastností jsou popsány v jiné kapitole (č. 2. 3. 1) této práce.

Tab. 1 – maximální povolené množství pyrotechnických složí ve výrobcích kategorie 1, 2 a 3, část 1.

Čistý obsah pyrotechnických složí ve výrobcích podle ČSN EN 15947-5						
Typ výrobku	Čistá hmotnost složí	Z toho maximálně:				
		Černý prach	Dusičnan /kov	Chloristan /kov	Fonetická slož	Třecí slož
Výškové stoupací efekty	160 g	80 g	32 g	16 g	–	–
Petardy a dělobuchy	10 g	10 g	–	–	–	–
Baterie a kombinace	3 000 g	1 000 g	250 g	–	–	–
Bengálské ohně	1 000 g	–	–	–	–	–
Bengálské zápalky	3 g	–	–	–	–	–
Bengálské tyčinky	50 g	–	–	–	–	–
Vánoční petardy	0,016 g	–	–	–	–	0,016 g
Práskací granule, kuličky	15 g	–	–	–	–	–
Dvojitá petarda	10 g	10 g	–	–	–	–
Zábleskové petardy	10 g/5 g	–	10 g	5 g	–	–
Záblesková tělíska	30 g	–	–	–	–	–
Fontány	1000 g	–	–	–	20 g/díl	7,5 g
Pozemní pohyblivé efekty	25 g	–	–	–	–	–
Pozemní rotační efekty	25 g	–	–	–	–	–
Prskavky	50 g	–	–	–	–	–
Žabky	10 g	10 g	–	–	–	–
Skákací a rotující efekty	25 g	–	–	–	–	–
Miny	200 g	125 g	50 g	25 g	–	–

Tab. 1 – maximální povolené množství pyrotechnických složí ve výrobcích kategorie 1, 2 a 3, část 2.

Čistý obsah pyrotechnických složí ve výrobcích podle ČSN EN 15947-5						
Typ výrobku	Čistá hmotnost složí	Z toho maximálně:				
		Černý prach	Dusičnan /kov	Chloristan /kov	Fonetická slož	Třecí slož
Malé rakety	1,5 g	–	0,13 g	–	–	–
Rakety	200 g	50 g	20 g	10 g	–	–
Originální zápalky	0,050 g	–	–	–	–	–
Pyrotechnika pro oslavy	0,016 g	–	–	–	–	0,016 g
Římské svíce	250 g	200 g	80 g	40 g	–	–
Hadi	3 g	–	–	–	–	–
Vystřelovací trubice	40 g	20 g/díl	8 g/díl	4 g/díl	–	–
Bouchací provázky	0,016 g	–	–	–	–	0,016 g
Létající rotační efekty	30 g	–	–	–	–	–
Stolní bomby	2 g	–	–	–	–	–
Bouchací kuličky	0,0025 g	–	–	–	–	0,0025 g
Slunce	900 g	–	–	–	20 g/díl	–

2.1.6 Pyrotechnické výrobky pro airsoft a paintball („airsoftová pyrotechnika“)

Toto označení bylo použito s určitým záměrem. Ačkoli se vlastně jedná o výrobek zařazený podle vyhlášky 174/1992Sb.[9] o pyrotechnický předmět podtřídy T₁ a pokud se jedná o výrobek kategorizovaný podle nařízení vlády č. 208/2010 Sb. [12] jako ostatní pyrotechnický výrobek kategorie P₁. Ať už se jedná o airsoft nebo paintball, v obou případech se jedná o nový adrenalinový „válečný“ sport. Ve většině případů proti sobě stojí dva týmy. Účelem hry může být eliminace jednoho z týmů nebo osvobození rukojmí, přepady a podobné aktivity v určitém časovém limitu. Jako prostředky k uskutečnění tohoto cíle se používají nejen zbraně na stlačený vzduch, ale také pyrotechnika, u které se vžil název

airsoftová pyrotechnika, nebo také pyrotechnika pro airsoft. Jsou to výrobky vyvíjené přímo pro fanoušky tohoto sportu. Jedná se například o prostředky pro signalizaci, jako jsou ruční vrhače a signální světlice, dýmové granáty všeho druhu, přes granáty s třecím zapalovačem, granáty s barvou, zásahové výbušky až po dýmovou nášlapnou minu. Je možné zakoupit i granát, v jehož středu je pouzdro s laborovanou zábleskovou složi. Kolem pouzdra je dutina, která je určena buď na dosypání kuliček pro airsoft, nebo dolití barvy pro paintball. Tyto výrobky se ve hře používají také pro vytvoření nástražných výbušných systémů a tím k simulované eliminaci nepřítele. Příklady výrobků pro airsoft jsou na obr. 1.



Obr. 1 – Příklady pyrotechnických výrobků pro airsoft.

2.2 Mimořádné události s civilní pyrotechnikou

V této kapitole je uveden pouze zlomek mimořádných událostí, které se v souvislosti se zábavní pyrotechnikou staly. Účelem této kapitoly není hodnotit příčiny vzniku události z hlediska porušení předpisů, chyb lidského faktoru, či úmyslu a chyb dalších, ale poukázat na fakt, že ve větším množství a vhodné iniciaci, či při nevhodném použití, se i tato zábavní pyrotechnika může stát zbraní schopnou způsobit nejen škody na majetku, zranění, ale i smrt. Je třeba také zdůraznit, že ve všech případech došlo k požáru a hromadnému výbuchu nechtěně (mimo bombový útok v Bostonu), nikoli záměrně. V případě možného zneužití by se hromadného výbuchu dalo dosáhnout snáze, například vhodnou úpravou výrobků a podobně, v případě požáru například vhodným rozmístěním těchto výrobků.

2.2.1 S. E. Fireworks, Enschede, 13. 5. 2000

Nejznámější v tom špatném slova smyslu, je výbuch skladu s civilní pyrotechnikou firmy S. E. Fireworks v nizozemském Enschede.

Město Enschede s počtem obyvatel kolem 150 tis. se nachází ve východní části Nizozemí, asi 20 km od hranic s Německem. Společnost S. E. Fireworks zde provozovala sklad zábavní pyrotechniky v obytné čtvrti Roombeek v blízkosti středu města, která měla odhadem 2 500 obyvatel. V době nehody zde společnost z větší části uskladovala a přebalovala zábavní pyrotechniku dovezenou z Číny. Její celkové uskladněné množství bylo téměř 177 tun (dokladováno 176,9 tuny).

Byla sobota 13. května roku 2000, takže firma měla pro veřejnost a obchodní partnery zavřeno. Ačkoli se pyrotechnické výrobky mohly nacházet v dílně pouze v pracovní dobu, bylo zjištěno, že v době incidentu zde bylo skladováno zhruba 900 kg zábavní pyrotechniky, včetně kulových pum kalibru 2,5'' až 5'' (63 mm až 125 mm), baterie, římské svíce, fontány, zápalné šňůry a další.

Série nešťastných událostí začala právě v této dílně krátce před třetí hodinou odpolední, kdy došlo k požáru. Požár byl nahlášen sousedy zhruba v 15:03 hod. a již v 15:08 hod. dorazila na místo zásahu první jednotka. Byly povolány posily a potvrzeno, že v objektu není nikdo přítomen. Na místě bylo zjištěno, že se požár rozšířil na několik míst, včetně průčelí, střech budov a také na několik MAVO boxů (buňky z odlehčeného betonu připomínající garáže) a zeleně kolem budov, až do vzdálenosti 60 m od dílny. Oheň se díky hořící pyrotechnice velmi rychle šířil a zachvátil také kontejnery pro skladování pyrotechniky. První z nich vybuchl přibližně v 15:28 hod. Asi 40 vteřin po prvním výbuchu začalo postupně docházet k explozím MAVO boxů. Exploze, která nastala, se dá srovnat s explozí přibližně 800 kg TNT (tritolový ekvivalent) a vytvořila ohnivou kouli o průměru 85 m. Síla tohoto výbuchu narušila dveře a konstrukci u centrálního skladu a skladů okolních, které taktéž začaly hořet. Následoval další výbuch, který vytvořil ohnivou kouli o průměru 135 m a exploze byla slyšet do vzdálenosti 15 km. Síla této exploze byla experty odhadnuta na 4 – 5 tun TNT.

Hasiči byli v této fázi požáru v podstatě bezbranní, exploze částečně zničila i hasičské vozy a techniku v blízkosti areálu. Na výpomoc byly přivolány i jednotky z nedalekého Německa, které významnou měrou pomohly ke stabilizaci okolí. Celý areál společnosti, přilehlé okolí a domy v blízkém okolí byly zničeny nebo velmi vážně poškozeny. Policie zvolila

bezpečnostní zónu příliš blízko požáru. Kolem zóny se nahromadilo velké množství přihlížejících diváků. Když nastaly výbuchy, v panice došlo k mnoha dalším úrazům.

Následky mimořádné události

Následky byly přímo katastrofální. Nehoda má na svědomí 22 lidských životů, včetně 4 zasahujících hasičů. Bylo evidováno 974 zraněných, z toho 50 těžce. Domy v okruhu 250 m od místa výbuchu byly na následky tlakové vlny většinou zcela zničeny a v okruhu 750 m těžce narušeny. Více než 500 domů bylo zničeno a celková škoda byla vyčíslena na 500 mil. euro. Na místě nehody vznikl kráter o průměru 13 m a hloubce 1–3 m.

Počáteční příčina požáru nebyla vzhledem k totálnímu zničení areálu firmy nikdy zjištěna. Jsou pouze nastoleny určité hypotézy vzniku události od žhářství, přes selhání lidského faktoru, až po závadu na elektroinstalaci. Faktem nadále zůstává, že se jednalo o mimořádnou událost velkého rozsahu s devastujícím účinkem na své okolí [21].

2.2.2 Výbuch auta se zábavní pyrotechnikou, Čína 1. 2. 2013

Neštěstí se stalo v Číně ve městě Luo-Jang v provincii Che-nan. Nákladní automobil převážející pyrotechnické výrobky pro oslavu Čínského nového roku explodoval přímo na dálničním mostě. Výbuch, který nastal, zničil úsek velice frekventované dálnice G30 v délce 80 m včetně části mostní konstrukce. Bilance výbuchu je minimálně 5 mrtvých a 15 zraněných. Přesné informace je téměř nemožné získat, s ohledem na místo nehody [23].

2.2.3 Exploze 100 mm kulové pumy na náměstí Svobody v Brně 1. 1. 2012

Ačkoli se v tomto případě nejedná o běžně dostupnou zábavní pyrotechniku, ale o pyrotechniku profesionální, přesto zde bude uvedena.

Skupina mladíků si pro vítání nového roku na náměstí Svobody opatřila kulovou pumu kalibru 4“ (100 mm). Tu pak následně položili na zem a bez varování ji mezi lidmi odpálili. Výbuch kulové pumy rozhodil hořící světlice v okruhu 80 m. Celou akci si natáčeli na video, které umístili na internet. V tomto případě se jednalo spíše o “klukovinu“ všech aktérů, ale v konečném důsledku je třeba mluvit o štěstí, že se nikomu nic nestalo [25].

2.2.4 Bombový útok při maratonu, Boston, Massachusetts 15. 4. 2013

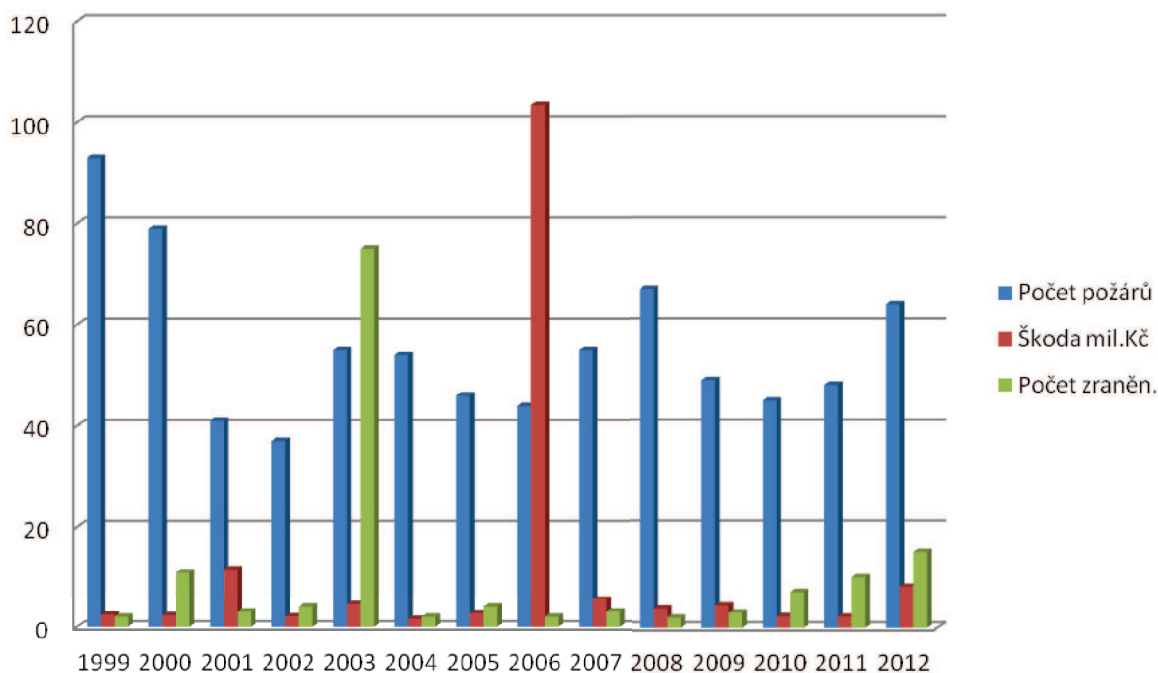
Poslední událost zde uvedená, je zároveň nejvíce aktuální. Dne 15. 4. 2013 se pořádal v Bostonu tradiční mezinárodní maraton [26]. V ulicích bylo velké množství lidí podél celé trati. Nejvíce se jich nacházelo v cílové rovině, kde také vybuchly krátce po sobě (zhruba 15 s) dvě nálože, umístěné podél trati. První informace uváděly umístění náloží v odpadkových koších, tato informace nakonec nebyla potvrzena. Po prohledání místa výbuchů bylo zjištěno, že bomby byly zhotoveny z tlakových hrnců, běžně používaných k přípravě pokrmů. Byly naplněny neznámou výbušninou, hřebíky, ložisky a jiným drobným kovovým materiálem tak, aby bylo dosaženo co největšího ničivého účinku na své okolí. K dnešnímu dni ještě nejsou známy informace o tom, jaká výbušnina byla použita, ale vzhledem k televizním záběrům z místa výbuchu se experti domnívají, že se pravděpodobně jedná o nějakou slabší výbušninu či pyrotechnickou slož, nejspíše o černý prach [27]. Ten je

celkem snadno dostupný i v naší zemi, kde se dá koupit na občanský průkaz nebo lze použít jako jeho zdroj výrobky zábavní pyrotechniky, ve kterých je též obsažen v poměrně velkém množství. Vzhledem k nálezům baterie a vodičů na místě útoku je předpoklad, že bomba byla iniciována elektricky. Náklady na výrobu bomby tohoto typu nejsou příliš vysoké, lze ji sestavit za několik tisíc korun, přitom nejdražší komponentou bude právě tlakový hrnec. Na následky výbuchů zemřeli tři lidé a minimálně 144 lidí bylo zraněno. Většina lidí byla zraněna na dolní části těla střepinami a železnými projektily, některým zasaženým výbuch amputoval končetiny.

2.2.5 Zábavní pyrotechnika jako potenciální zdroj požáru

Zábavní pyrotechnika nemusí být brána jen jako potenciální zdroj komponent pro výbušniny, je také možné na ni nahlížet z hlediska možného zneužití zápalného potenciálu. Teplota hoření pyrotechnických složí nezřídka překročí 1 000 °C [39], což několikanásobně převyšuje zápalné teploty běžně užívaných látek (papír, dřevo, polystyren a jiné). Bombové útoky jsou v naší zemi prováděny jen výjimečně a jsou většinou cílené proti konkrétní osobě (například vyřizování účtů mezi podnikateli, výbuch trubkové bomby Praha 1993 [43]). Naproti tomu útoky žhářské jsou již častější (například požár soukromé pily v Rotavě na Sokolovsku r. 1997 [36], požár masokombinátu Filex v Uherském Brodě r. 2011 [42]). Pokud je zvolen prostor s komplikovaným přístupem, s nedostatkem dveří a oken, ve kterém je navíc dostatek hořlavého materiálu (níže zmiňovaný noční klub v Brazílii), může mít za určitých podmínek založený požár mnohem horší účinky než bombový útok. Například byla prokázána vyšší účinnost zápalné munice ve srovnání s municí výbušnou v souvislosti s válkou ve Vietnamu. Zde bylo potřeba na vyřazení jednoho vojáka hmotnostně 10×více výbušné munice, než při použití munice zápalné [36].

V naší zemi nejsou požáry způsobené zábavní pyrotechnikou nijak ojedinělé, ale pokud je známo, všechny byly způsobeny při neopatrném a nevhodném použití výrobků zábavní pyrotechniky. Tyto požáry si vyžádaly nejen vysoké materiální škody, ale i ztráty na lidském zdraví a v jednom případě dokonce i smrt [44]. Jejich přehled v rozmezí let 1999 – 2012 naleznete i s výškou škody a počty zraněných níže na obr. 2.



Obr.2–Statistika počtů požárů způsobených zábavní pyrotechnikou v rozmezí let 1999–2012.

V roce 2006 došlo k níže zmiňovanému požáru na tržnici v Hatích na Znojemsku, kde podle statistik (Generálního Ředitelství HZS ČR) vznikla škoda dokonce 100 mil. Kč [44].

2.2.6 Požár tržnice Excalibur, Hatě 20. 12. 2006

Požár ve známé tržnici Excalibur v Hatích na Znojemsku vypukl kolem 17:30 hod. Pravděpodobná příčina vzniku bylo předvádění zábavní pyrotechniky jedním z prodejců, když nedodržel bezpečnou vzdálenost od svého i ostatních stánků a část hořící efektové složky zapadla mezi ostatní pyrotechnické výrobky. Od hořícího stánku se vzňalo i 6 automobilů. Jednomu z těchto automobilů explodovala palivová nádrž a následkem této exploze se oheň rozšířil také na budovu nákupního centra. Při požáru zasahovalo kolem 300 hasičů z Moravy a Rakouska. Dvě osoby byly lehce zraněny a výsledná škoda se odhaduje na 40 mil. korun [22].

2.2.7 Požár nočního klubu, Brazílie 27. 1. 2013

Zábavní pyrotechnika může být nebezpečná nejen svým výbuchem, ale také se může stát zdrojem požáru. Ten má za určitých podmínek mnohdy větší ničivou sílu (díky nastalé panice a zakouření prostor), než samotný výbuch. Důkazem může být například požár nočního klubu v jižní části Brazílie ve městě Santa Maria. Požár nastal během živého vystoupení kapely, která používala pyrotechnické efekty. Je pravděpodobné, že požár způsobila právě tato pyrotechnika, od které došlo k zahoření protihlukové izolace na stropě. Následkem požáru došlo k poměrně rychlému zakouření prostor. V nastalé panice a na následky udušení či ušlapání zemřelo 231 osob. Následky jsou tragické také díky tomu, že klub měl pouze jeden vstup bez nouzových východů [24].

2.3 Analýza nebezpečnosti vybraných pyrotechnických výrobků

Na základě neblahých zkušeností z havárií podobných těm z předcházející kapitoly, je jasné, že mohou mít i výrobky zábavní pyrotechniky kategorií 1, 2 a 3 za určitých okolností silný ničivý potenciál. Ať již se jedná o jejich možný hromadný výbuch nebo založení mnohačetných ohnisek požáru. Také bylo uvedeno, že k hromadným výbuchům, či požárům došlo nechtěně. V případě zneužití by šlo přivést tyto výrobky k hromadnému výbuchu mnohem snáze, například vhodnou úpravou určitých pyrotechnických výrobků, volbou vhodného způsobu aktivace, zvýšením ničivého účinku použitím dalších opatření a kombinací všech těchto možností. V této kapitole bude obecně řešeno, jaké výrobky mají největší potenciál zneužití. Výrobky budou posuzovány z následujících hledisek:

1. zda obsahují vytipované složky a za jsou tyto ve stavu schopném hromadného výbuchu nebo dokonce detonace
2. posouzení výrobku z hlediska měrné hmotnostní koncentrace nebezpečných pyrotechnických složek v daném výrobku (poměr hmotnosti složky ku hmotnosti celého výrobku)
3. určení vlivu balení výrobků z hlediska možného ovlivnění schopnosti hromadného výbuchu
4. posouzení ceny výrobků jako faktoru ovlivňujícího dostupnost ve velkém množství
5. vliv způsobu iniciace výrobků a zvýšení možných účinků výbuchu

2.3.1 Pyrotechnické složky z pohledu vlastností a schopnosti hromadného výbuchu

Látky, které společně po vhodné iniciaci exotermicky reagují, nazýváme pyrotechnické složky. Každá pyrotechnická složka musí obsahovat minimálně dvě složky a to oxidovadlo (okysličovadlo) a hořlavinu (palivo). Další složky používané v pyrotechnické směsi jsou „pomocné látky“. Do této skupiny můžeme zahrnout:

- látky barvící plamen
- pojidla
- barviva pro složky barevných dýmů
- látky zlepšující účinek složky (svítivost, čistotu plamene a podobně)
- flegmatizátory (látky snižující citlivost složky)
- senzibilizátory (látky zvyšující citlivost složky)
- stabilizátory
- akcelerátory (látky zrychlující hoření)
- rozpouštědla a další.

Některé z látek používaných pro výrobu pyrotechnických složek mohou plnit více funkcí najednou, například okysličovadlo může být i látkou barvící plamen a látky používané jako pojidla mají i funkci flegmatizátoru [4]. Jak již bylo řečeno v úvodu, pyrotechnická složka může mít vlastnosti trhaviny, střeliviny nebo třaskaviny. Vše záleží na použitém druhu oxidovadla, paliva a také na tom, jaký použijeme impuls pro nastartování reakce. Pro příklad pyrotechnické složky používané jako trhaviny můžeme uvést chlorátové trhaviny používané ve Francii (Cheddite) [28] a v Belgii (Yonckite) [29], kde se používaly detonující složky na bázi

chlореčnanu. Také v současné ohňostrojné pyrotechnice jsou rovněž používány některé slože schopné za určitých podmínek detonovat. Pro příklad slože jako střeliviny můžeme použít černý prach, nebo hnací náplně do airbagů a podobně.

2.3.1.1 Oxidovadla

V pyrotechnických složích se nejčastěji používá jako oxidovadlo kyslík, přesněji jde o sloučeniny, které kyslík obsahují a poměrně snadno se z nich během rozkladných reakcí uvolňuje. V pyrotechnické složi je oxidovadlem zpravidla pevná látka, která má následující vlastnosti:

- velký obsah kyslíku a jeho snadné uvolnění při reakci
- fyzikální a chemickou stálost v rozmezí teplot -60 až $+85$ °C
- nesmí obsahovat vodu a nesmí být hygroskopické
- nemělo by mít toxické účinky na lidský organizmus
- snadno dostupné ve velkém množství
- nesmí být samozápalné

Oxidovadla můžeme rozdělit do několika skupin:

- oxidy a peroxidy
- chromany a dvojchromany
- dusičnany
- chlореčnany a chloristany
- ostatní krystalické soli
- jiná oxidovadla

Oxidovadlem nemusí být nutně látka bohatá na kyslík a nejen pevná látka, mohou to být i kapaliny, například tetrachlormethan (chlorid uhličitý, CCl_4) a perchlorethylen (tetrachlorethylen, C_2Cl_4). Jejich směsi a také směsi dalších chlorovaných uhlovodíků s práškovými kovy se pod zkratkou HC používají jako dýmové směsi do dýmovnic. V další části práce se budeme zabývat pouze oxidovadly, která jsou používána v zábavní a případně v profesionální ohňostrojné pyrotechnice.

Potenciálně nebezpečná oxidovadla (z pohledu možnosti tvořit detonovatelné slože)

Oxidovadel se v ohňostrojné pyrotechnice využívá celá řada a spousta z nich netvoří výbuchem nebezpečné pyrotechnické slože. Na druhou stranu máme oxidovadla, která mohou být ve složi příčinou nebezpečně rychlých výbušných přeměn [36]. Mezi potenciálně nebezpečná oxidovadla můžeme zařadit:

- dusičnan amonný (NH_4NO_3)
- chloristan amonný (NH_4ClO_4)
- chlореčnan draselný (KClO_3)
- chlореčnan sodný (NaClO_3)
- dusičnan barnatý ($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$)
- chloristan draselný (KClO_4)

Jak bylo dokázáno historickým vývojem a testy, slože na jejich bázi jsou prokazatelně detonace schopné [36]. Jejich výbušné vlastnosti popsali ve své práci Tadeusz Urbanski [29], i A. A. Šidlovskij [39]. V případě zábleskové slože chloristan draselný/hliník (70/30) byly

provedeny testy s různou navázkou slože v rozmezí od 50 g do 500 g. Naměřené hodnoty prokázaly, že síla slože v čele tlakové vlny dosahuje rozmezí 0,55–1,3 TNT ekvivalentu v závislosti na množství slože a vzdálenosti od centra výbuchu [31].

Za další nebezpečná oxidovadla můžeme považovat taková, jejichž slože jsou schopny nebezpečné formy výbuchu. Mezi taková oxidovadla řadíme např.:

- manganistan draselný (KMnO_4)
- dusičnan draselný (KNO_3), vyjma slože s pikrátem draselným, která je díky obsahu polotřaskaviny schopna detonace.
- chlorečnan barnatý ($\text{Ba}(\text{ClO}_3)_2$)
- dusičnan sodný (NaNO_3)

2.3.1.2 Hořlaviny

Hořlaviny jsou všechny látky, které jsou schopné oxidace kyslíkem nebo jiným oxidačním médiem, které je uvolněno z oxidovadla. Je jich široká škála a většina z nich je technicky používána. Hořlaviny můžeme rozdělit na organické a anorganické.

Mezi **hořlaviny organické** můžeme zařadit alifatické i aromatické uhlovodíky jako jsou benzín, petrolej, antracen a podobně. Dále uhlohydráty jako je škrob, dřevěné piliny, mléčný cukr a v neposlední řadě organické látky jiných typů.

Mezi **hořlaviny anorganické** můžeme zařadit například kovy (hořčík, hliník, slitiny hořčíku s hliníkem, zirkonium, titan, železo atd.), nekovy (fosfor, síra, uhlík ve formě dřevěného uhlí či sazí), sulfidy (například sulfid antimonitý – surma, sulfid železnatý) a jiné.

Požadované vlastnosti hořlavin jsou následující:

- dostatečný tepelný účinek schopný pokrýt vyzářené ztráty do okolí a zahřátí nezreagované slože
- musí docházet k její snadné oxidaci ať už vzdušným kyslíkem, či kyslíkem z okysličovadla
- produkty hoření musí podporovat zvláštní účinek slože
- spotřeba kyslíku musí být co nejnižší
- podobnou fyzikální a chemickou stabilitu jako u oxidovadla -60 až $+85$ °C
- nesmí obsahovat vodu a nesmí být příliš hygroskopické
- snadno dostupné a lehce rozemílatelné
- nesmí být samozápalné a mnoho dalších [4].

2.3.1.3 Další nebezpečné komponenty složí zábavné pyrotechniky

U moderních složí pro exteriérové i interiérové ohňostroje jsou za účelem odstranění nepříjemného dýmu nahrazovány některá tradiční oxidovadla i paliva látkami, které při hoření netvoří pevné nebo dýmotvorné látky. Například je možno jmenovat nitrocelulózu jako složku interiérových fontán nebo projektorů plamene nebo jako výmetnou náplň kulových pum místo černého prachu. Další používané látky jsou například chloristan amonný a nitroguanidin. Všechny 3 uvedené sloučeniny mají jednu nevýhodu a to je jejich schopnost ve složích za určitých podmínek detonovat. Proto na slože je obsahující, by mělo být pohlíženo i z tohoto úhlu pohledu [38].

2.3.1.4 Nebezpečné slože (schopné rychlé výbušné přeměny nebo detonace)

Přístup z výše uvedených odstavců bude nyní aplikován na konkrétní slože obsažené ve výrobcích zábavné pyrotechniky a z nich jsou vybrány ty slože, které mají nejvyšší potenciál z hlediska zneužití. Podle odkazu [30] jsou v USA považovány za vysoce nebezpečné slože zařazené do Class 6 podle NFPA 44A typicky například tyto směsi: směsi chlorečnanu draselného s práškovými kovy, sírou, uhlíkem, sirníkem antimonitým apod., dále směsi chloristanu draselného s kovy a sirníkem antimonitým, směsi minia se zirkoniem, směsi oxidu olovičitého se zirkoniem, titanem, borem a hydridem zirkonia, směsi dusičnanu barnatého se sírou a hliníkovým pudrem a dále všechny fonetické (pískací) slože [38]. K těmto uvedeným složím lze dnes na základě zkušeností přidat další a jejich výčet je možno najít v odstavcích níže.

Černý prach

Černý prach je směs dusičnanu draselného (75 %), dřevěného uhlí (15 %) a síry (10 %). Toto základní složení se může měnit z důvodu zvýšení, či snížení rychlosti hoření. Vzhledem k zamýšlenému použití, je černý prach vyráběn jako moučka, až po zrna o velikosti několika milimetrů a může být zařazen mezi trhaviny, střeliviny i pyrotechnické slože.

Vlastnosti černého prachu můžeme ovlivnit jednak vzájemným poměrem surovin, ale také charakterem dřevěného uhlí. Záleží totiž na druhu dřeva, z jakého je dřevěné uhlí páleno a také na teplotě zuhelnování. Ta má vliv na výsledné chemické složení dřevěného uhlí a také na jeho zápalnou teplotu. Čím vyšší je teplota zuhelnování dřevěného uhlí, tím vyšší je podíl uhlíku v něm obsažený a tím vyšší je i jeho zápalná teplota. Z toho plyne, že pokud k výrobě černého prachu použijeme uhlí pálené při vysoké teplotě, bude i teplota vznichu černého prachu vyšší. Přísada síry naopak snižuje teplotu vznichu, ale také zvětšuje množství plynů uvolňujících se při hoření. Její přítomnost zvyšuje citlivost černého prachu k nárazu a tření.

Vlastnosti černého prachu [29]:

- specifická hustota $1,5 - 1,85 \text{ g/cm}^3$
- sypaná hustota $0,9 - 0,98 \text{ g/cm}^3$
- teplota vznichu přibližně $300 \text{ }^\circ\text{C}$
- výbuchová teplota přibližně $2\,300 \text{ }^\circ\text{C}$
- výbuchové teplo přibližně $3\,000 \text{ kJ/kg}$
- měrný objem plynů $280 \text{ dm}^3/\text{kg}$

Hoření černého prachu je závislé na jeho hustotě. Do hustoty $1,75 \text{ g/cm}^3$ shoří v celé mase, ovšem při slisování nad tuto hustotu odhořívá ve vrstvách. Vhodným tlakem lze také upravit rychlost hoření. Této vlastnosti se využívá například při výrobě zpozdovačů, jako pomocného výrobku používaného při ohňostrojích, v časovacích zápalnicích a podobně. Pokud je černý prach uzavřen v pevném obalu a je iniciován rozbuškou, může jeho rychlost hoření dosáhnout 400 m/s . Černý prach se v ohňostrojné pyrotechnice používá jako výmetná slož různých pyrotechnických výrobků, při výrobě určitých druhů „dělobuchů“ a v dalších aplikacích.

Záblesková (explozivní) slož

Zábleskové se jim říká proto, že při hoření produkují krátký světelný efekt o poměrně velké svítivosti. Této vlastnosti se dříve využívalo při fotografování, kdy se používalo volně sypaného práškového hořčíku k vytvoření záblesku. Některé slož se používají i v současnosti, například při fotografování jeskyní. Propracovanějších slož se používá při letecké fotografii. Zde se záblesková slož laboruje do tzv. zábleskových bomb (pum) [4]. V zábavní pyrotechnice se též používá zábleskových slož, ať už pro produkci světla (intenzivních záblesků bez zvukových projevů), nebo pro výrobu „petard a dělobuchů“ a podobně.

Základem je silné oxidovadlo a jemný kovový (hliník, hořčík a jiné) prášek. Dříve se jako oxidovadlo hojně používal chlorečnan draselný (KClO_3), ale pyrotechnické slož, kterých je součástí, jsou mnohem citlivější k počátečním impulzům než slož s chloristanem draselným (KClO_4). Navíc jsou slož s vysokým podílem chlorečnanu schopné detonace (viz. výše zmiňované chlorátové trhaviny). Zábleskové slož rozhodně patří mezi nebezpečné pyrotechnické slož, neboť jejich síla exploze je srovnatelná s některými hodnotami naměřených u komerčních trhavin [31]. Základní a asi nejvíc známé složení zábleskové slož je 70 % chloristan draselný a 30 % hliníkový pudr.

Vlastnosti zábleskové slož (KClO_4 / Al – 70/30):

- výbuchové teplo přibližně 9 300 kJ/kg
- teplota vzbuchu přibližně 360 °C

Zábleskové slož se používají jako sypké ve vhodném obalu. Pokud slož slehne, dochází k selhávkám při iniciaci od výšlehu zápalnice. Silně slisovaná záblesková slož ztrácí schopnost výbuchu.

Pískací (fonetické) slož

Pískavý zvuk je v ohňostroji tvořen reakcí při hoření slož, která je vtlačena do trubice s jedním uzavřeným koncem. Tohoto efektu je možno dosáhnout výběrem několika pyrotechnických slož [32], viz. tabulka 2.

Tab. 2 – Příklad fonetických slož.

Fonetické slož		
slož č. 1	slož č. 2	slož č. 3
kyselina galová 25 %	pikrát draselný 63 %	benzoan draselný 30 %
chlorečnan draselný 75 %	dusičnan draselný 37 %	chloristan draselný 70 %

Pyrotechnická slož č. 2 je z uvedených nejvíce nebezpečná, neboť se jedná o poměrně silnou trhavinu a proto je třeba brát v úvahu její potenciální nebezpečnost. Fonetické slož s kyselinou galovou a pikrátem draselným jsou citlivé na mechanické podněty. Citlivost k nárazu mají obě slož zhruba stejnou, ale ke tření je mnohem více citlivější slož s kyselinou galovou. Slož benzoan draselný s chloristanem draselným je sice nejslabší, co se efektu týče, ale je z uvedených slož nejbezpečnější. Fonetických slož je více druhů, ale například

varianta se salicylanem sodným(salicylan sodný 25 % a chloristan draselný 75 %) je hygroskopická (navlhavá) a výrobky s touto složí je těžké skladovat delší dobu.

Slože pro ohněpády

Základem slože pro ohněpády je oxidovadlo většinou v podobě dusičnanu (draselný, barnatý) a kovový prášek nebo cetky (hliník). Někdy může být další komponentou síra a pojivo. Slože pro ohněpády nejsou příliš citlivé, ale protože je hmotnostní koncentrace složí v balení vysoká, roste s ní i potenciální nebezpečí výbuchu [33]. Příklady těchto složí [32] můžeme nalézt v tabulce 3.

Tab. 3 – Příklad složí pro ohněpády.

Příklady složí pro ohněpády	
slož č. 1	slož č. 2
dusičnan draselný 40 %	dusičnan barnatý 52 %
hliník (cetky různých velikostí) 49 %	dusičnan draselný 8 %
síra 4 %	hliník (tmavý pyrotechnický) 22 %
kyselina boritá 1 %	hliník (cetky) 20 %
rýžový škrob 6 %	kyselina boritá 0,5 %

Slože pro praskavý (crackling) efekt

Slože pro praskavý efekt jsou založeny na bázi oxidu olovnato-olovičitého (Pb_3O_4). Ale může se nahradit i oxidem bismutitým (Bi_2O_3). Slože je citlivá k nárazu a tření a za určitých podmínek může mít výbušné vlastnosti [34]. V některých případech se používá nitrocelulózový lak jako pojivo v objemu 10 % slože. Příklady těchto složí můžeme nalézt v tabulce 4.

Tab. 4 – Příklad praskavých složí.

Příklad slože pro praskavý efekt			
	slož č. 1	slož č. 2	slož č. 3
oxid olovnato-olovičitý	89 %	44 %	—
dusičnan draselný	—	4 %	—
magnalium (slitina Al/Mg)	11 %	17 %	15 %
síra	—	4 %	—
oxid měďnatý	—	31 %	10 %
oxid bismutitý	—	—	75 %

Slože pro interiérové fontány

Slože pro interiérové fontány jsou téměř bez zápachu a vyvíjejí jen minimum kouře, proto jsou vhodné pro efekty do interiéru. Jejich základem je většinou nitrocelulóza s přidavkem dalších látek, kterými jsou například titanové, železné, či hořčíkové piliny, nebo pro obarvení plamene můžeme použít soli lithia, mědi a podobně [34]. Aby se snížila produkce kouře u výrobků zábavní pyrotechniky, přidávají se do složí kromě nitrocelulózy látky, jako jsou nitroguanidin a chloristan amonný [40]. Nitroguanidin je silná, ale těžko detonující výbušnina, která se používala za druhé světové války jako příměs do bezdýmných prachů [29]. Slože na jejich bázi se mohou použít i pro výrobu světliček pro skládané pyrotechnické výrobky jakými jsou římské svíce, kulové pumy a podobně [41]. V případě použití nitrocelulózy je důležité, aby slož obsahovala vhodně stabilizovanou práškovou nitrocelulózu s určitým procentem dusíku (nejvýše 12,6 % [13]). Typická slož, používaná pro interiérové fontány, může být například 92 % nitrocelulózy a 8 % titanového prachu.

Slože pro bengálské ohně

Bengálské ohně jsou z hlavní části tvořeny složemi na bázi dusičnanů kovů a chlorečnanu nebo chloristanu draselného, jako hlavních složek. Výsledná slož není příliš citlivá na náraz a tření, ale ve výrobku jí bývá obsaženo velké množství. Podle použitého dusičnanu určíme, jakou bude mít výsledný plamen barvu. Zelenou při použití dusičnanu barnatého a červenou při použití dusičnanu strontnatého. Pokud použijeme z větší části oxalát sodný ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$) místo chlorečnanu draselného, můžeme vytvořit žlutou barvu plamene. Modré barvy můžeme dosáhnout použitím měďnatých sloučenin, například uhličitan měďnatý (CuCO_3) s chlorečnanem draselným [33]. Příklady těchto složí najdeme v tabulce 5.

Tab. 5 – Příklad složí pro bengálské ohně.

Příklad slože pro bengálský oheň		
	slož pro červený plamen	slož pro zelený plamen
chlorečnan draselný	20 %	16 %
dusičnan barnatý	–	70%
dusičnan strontnatý	65 %	–
šelak/pryskyřice	15 %	13 %
parafrínový olej	–	1 %

Zábleskové („stroboskopické“) slože

Zábleskové nebo též „stroboskopické“ slože se projevují přerušovaným hořením, čímž dochází k zábleskům nebo třpytivým efektům. Je možných mnoho variant třpytivých složí, na bázi chloristanu amonného. Jiné barevné varianty lze vytvořit záměnou síranu kovů. Vzhledem k tomu, že pro tuto pyrotechnickou slož jsou použity stejné základní směsi jako pro slož zábleskovou, bude mít i podobné vlastnosti. Citlivost k nárazu, tření apod. [33]. Příklad stroboskopické slože je uveden v tabulce 6.

Tab.6 – Příklad „stroboskopické“ slože.

Záblesková („stroboskopická“) slož	
látky obsažené ve směsi	obsah v %
chloristan amonný	50-60 %
hořčík/magnalium	30-40 %
síran barnatý	15 %
dvojchroman draselný	5 %

Dýmové slože

Dýmové slože se používají pro signální a zastírací účely, v zábavní pyrotechnice se jich využívá jen zřídka ve výrobcích tzv. “dětské pyrotechniky“ třídy I. Také je můžeme najít v bateriích pro tzv. denní ohňostroje, ale ty v našich podmínkách zatím nejsou tolik rozšířeny. Větší použití a tím i širší výběr výrobků můžeme najít v tzv. airsoftové pyrotechnice“. Dýmové slože obsahují větší množství inertních přísad, čímž se podstatně snižují jejich výbušné vlastnosti. Výbušné vlastnosti mohou mít dýmové slože na bázi chlorečnanů [37], ale obsah chlorečnanu ve směsi musí být větší než 45 % [39]. V tabulce 7 jsou uvedeny příklady složí pro černý a bílý dým [34].

Tab. 7 – Příklad dýmových složí.

slož pro černý dým	
slož č. 1	slož č. 2
hexachlorethan 60 %	dusičnan draselný 60 %
antracen 20 %	síra 3 %
hořčík jemný 20 %	piliny 26 %
—	tekutý dehet (uhlí) 7 %
—	akaroidová pryskyřice 4 %
slož pro bílý dým	
slož č.1	slož č.2
chlorečnan draselný 20 %	chlorečnan draselný 40 %
chlorid amonný 50 %	chlorid amonný 45 %
naftalen 20 %	vosk 12 %
dřevěné uhlí 10 %	křemelina 3 %

Ostatní pyrotechnické slože

Mezi zbylé pyrotechnické slože používané v ohňostrojích můžeme zařadit slože třecí, hnací, jiskřivé, slože pro světlice a podobně. Vzhledem ke způsobu výroby a zpracování (lisování) je jejich potenciál z hlediska možného zneužití slabší. V tabulce 8 budou uvedeny jen některé slože pro světlice s chloristanem amonným [35].

Tab. 8 – Příklad složí pro světlice.

Příklad složí pro světlice s chloristanem amonným	
modré světlo (v hmotnostních dílech)	fialové světlo (v hmotnostních dílech)
chloristan amonný 68	chloristan amonný 55
hexamin 16	hexamin 20
uhličitan vápenatý 4	uhličitan vápenatý 15
–	sulfid měďnatý 11
–	iditol/grafit 0,5

2.3.2 Posouzení výrobku z hlediska hmotnostní koncentrace složí ve výrobku

V předcházející části byly vybrány potenciálně nebezpečné pyrotechnické slože schopné detonace nebo rychlé výbušné přeměny. Nyní je třeba vybrat výrobky, ve kterých se nachází velké množství těchto pyrotechnických složí. Zároveň je také nutné zohlednit jejich hustotu (sypká nebo lisovaná) na schopnost možného hromadného výbuchu.

Pro vyjádření hmotnosti slože ku hmotnosti celého výrobku využijeme hmotnostní zlomek. Je to bezrozměrná veličina. Pro naše potřeby bude uváděna v procentech (%). Výsledná hodnota bude získána, když je celková hmotnost složí obsažená například v baterii, vydělena hmotností celé baterie. Výsledek bude nabývat hodnot někde mezi 0 a 1. Pokud výsledek vynásobíme stem, získáme hmotnostní koncentraci v procentech. Z uvedené definice vyplývá, že čím vyšší bude výsledná hodnota, tím vyšší je podíl hmotnosti pyrotechnických složí na hmotnosti celého výrobku. Pro příklad výpočtu využijeme typového pyrotechnického výrobku, baterii bez fontány kategorie 2. Aby mohla být zjištěna jeho hmotnostní koncentrace složí, je třeba znát jeho celkovou hmotnost a hmotnost všech pyrotechnických složí. Hmotnost pyrotechnických složí by měla být uvedena na obalu výrobku, v našem případě je 197,5 g a celková váha výrobku byla po zvážení 1 320 g. Pokud vydělíme hmotnost složí (197,5 g) hmotností celého výrobku (1 320 g) a výsledek vynásobíme stem, získáme hmotnostní koncentraci v procentech (14,96 %). Pro srovnání použijeme druhý příklad baterie. Její celková hmotnost je 2 060 g a hmotnost složí je 278,4 g. Výsledná hmotnostní koncentrace složí bude 13,52 %. Z porovnání obou výsledků vyplývá, že množství pyrotechnické slože obsažené v baterii je mnohem vyšší v prvním příkladu, což znamená, že daný výrobek je potenciálně více nebezpečný než v příkladu druhém.

Nebezpečnost výrobků zábavní pyrotechniky ovšem nezáleží jen na množství složí ve výrobku obsažených, ale také na tom, jsou-li tyto slože ve výbuchu schopném stavu. U většiny pyrotechnických složí používaných v ohňostrojné pyrotechnice platí pravidlo, že čím je hustota slože vyšší, tím více ztrácí slože výbušné vlastnosti. U silně slisovaných

pyrotechnických složí se výbušných přeměn dosahuje velice špatně. Příkladem může být černý prach, který lisováním nad hodnotu $1,75 \text{ g/cm}^3$ ztrácí výbušné vlastnosti a odhořívá po vrstvách[29]. Dalším příkladem slože, která s rostoucí hustotou ztrácí schopnost výbuchu je směs s chloristanem amonným využívaná například pro stroboskopické slože nebo slože zábleskové. Toto ale neplatí u všech složí, například lisovaná fonetická slož s pikrátem draselným s rostoucí hustotou zvyšuje svoji detonační rychlost a destrukční účinky, pokud je k její iniciaci použito vhodného počátečního impulsu [38]. Stav hustoty pyrotechnické slože a tedy i vyšší či nižší potenciální nebezpečnost zjistíme, když porovnáme hustotu slože výrobku, s teoretickou maximální hustotou (TMD, Theoretical maximum density). TMD značí hustotu slože při ideálním slisování, většinou lze dosáhnout maximálně 85–98 % této hodnoty. Pokud bude výsledná hustota slože relativně nízká, stoupá tím potenciální nebezpečnost výrobku. Nízká hustota složí se dá předpokládat u složí sypkých, nebo pěchovaných, nikoli u složí lisovaných.

2.3.3 Posouzení balení výrobků z hlediska vlivu na schopnost hromadného výbuchu

V předešlém odstavci bylo vysvětleno, jaký má vliv hmotnostní koncentrace a stav pyrotechnických složí na potenciální nebezpečnost výrobků zábavní pyrotechniky. V této části bude posouzen vliv celkové balení pyrotechnických výrobků, na schopnost hromadného výbuchu. Všechny výrobky zábavní pyrotechniky jsou podle přepravy nebezpečných věcí po silnici (ADR) zařazeny pod třídu 1 – výbušné látky a předměty. Její podtřídy jsou 1.1, 1.2, 1.3 a 1.4. Přitom platí následující [45]:

- 1.1G – látky a předměty schopné hromadného výbuchu (hromadný výbuch postihne okamžitě všechny výrobky)
- 1.2G – látky a předměty, které jsou nebezpečné svým rozletem, ovšem nejsou nebezpečné hromadným výbuchem
- 1.3G – látky a předměty nebezpečné požárem, malým výbuchem a rozletem nebo kombinací obou
- 1.4G – látky a předměty, které v případě jejich iniciace představují pouze malé nebezpečí výbuchu. Účinky jsou převážně omezeny pouze na jednotlivá balení a nepředpokládá se rozlet jednotlivých úlomků. Vnější zdroj ohně nesmí vyvolat hromadný výbuch těchto předmětů.

1.4S – definice je shodná s podtřídou 1.4G, liší se skupinou snášenlivosti

Písmena „G a S“ pak značí skupinu snášenlivosti. Pro skupinu „G“ v tomto případě platí, že se jedná o pyrotechnickou slož, nebo pyrotechnický výrobek, který pyrotechnickou slož obsahuje. Pro skupinu „S“ platí, že je látka nebo předmět zabalen či vyroben tak, aby případně jejich náhodně vyvolané účinky zůstaly omezeny pouze uvnitř jejich obalu. Výrobky označeny jako 1.4S jsou považovány jako nejbezpečnější z hlediska chování při požáru a havárii.

Z uvedeného plyne, že na zařazení výrobku do tříd má vliv nejen množství a druh pyrotechnické slož, ale také konstrukce, typ a počet obalů výrobku, ve kterém je slož přepravována. Protože obaly obecně snižují schopnost přenosu výbuchu z obalu na obal,

různými přepážkami a úpravou balení můžeme podstatně zvýšit bezpečnost při přepravě a skladování pyrotechnických výrobků [40].

Abychom zjistili hmotnostní koncentraci pyrotechnických složek v kartonu, postupujeme stejně jako u výpočtu hmotnostní koncentrace jednotlivých výrobků. Karton zábavní pyrotechniky z pravidla obsahuje kromě názvu výrobku také toto značení pro zjištění údajů:

- hmotnost celého kartonu včetně obsahu (GROSS WEIGHT) např. 27,0 kg
- hmotnost obsahu bez kartonového obalu (NET WEIGHT) např. 26 kg
- hmotnost všech pyrotechnických složek (P. W. nebo častěji NEQ či NEC) např. 4,032 kg
- objem kartonu (VOLUME) např. 0,063 m³
- rozměr kartonu 39×31×52 cm
- označení nebezpečné věci příslušnou třídou: 1.3 G

Příklad značení kartonu zábavní pyrotechniky je na obr. 3.



Obr. 3 – Značení kartonu se zábavní pyrotechnikou.

2.3.4 Cena výrobku jako faktor ovlivňující dostupnost

Dalším určujícím faktorem potenciálně nebezpečných výrobků by rozhodně měla být cena, která je v tomto případě ukazatel dostupnosti. V praxi to znamená, že pokud máme drahé a potenciálně nebezpečné výrobky, s obsahem kvalitních pyrotechnických složí (například u interiérových fontán), a vedle nich výrobky levné, s podobně nebezpečnými složemi a v podobném množství, je třeba se na ty levné zaměřit přednostně. Kvalitní a speciální výrobky jako jsou například interiérové fontány, stojí řádově několik stokorun za kus. Naproti tomu petardy, zapalovače s chloristanem amonným s obsahem podobně potenciálně nebezpečných pyrotechnických složí, jsou za ceny nesrovnatelně nižší [40]. Příkladem může být nákup baterie v kategorii 2, která obsahuje maximální povolené množství složí 500 g, s fontánou 600 g. I když někdo může namítat, že baterie kategorie 3 má maximální povolené množství všech složí 1 000 g, s fontánou 3 000 g, jeho cena může být například 3 a vícekrát vyšší než u kategorie 2.

2.3.5 Způsob iniciace výrobků a zvýšení možných účinků výbuchu

V daném oboru jsou dána pravidla, kterými se útočníci řídí, ať již se to týká přípravy konstrukce bomb, nástražného výbušného systému nebo jeho iniciace. U konstrukce jsou většinou použity oceloplechové nebo železné nádoby (vodovodní trubka, tlakový hrnec, korba nákladního automobilu apod.), schopné vydržet určitý tlak. Pro střepinový efekt jsou přidávány různé kovové fragmenty (např. hřebíky, ocelová ložiska, šroubky maticky). K roznětu jsou používány buď nástrahové spínače, časové nebo dálkové spínače. V případě sebevražedných útoků postačí útočníkovi pouze baterie a tlačítko. Rozšířený je také dálkový roznět pomocí mobilních telefonů [43].

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V experimentální části bude na příkladech ověřena vhodnost výše navrženého algoritmu pro výběr potenciálně nebezpečných výrobků zábavní pyrotechniky. Hned z několika důvodů samozřejmě nebudou ověřovány a uváděny nejhorší možné zjištěné případy. Cílem experimentální části je pouze prokázat, že je zvolený přístup funkční a použitelný.

3.1 Experiment č. 1, posouzení nebezpečnosti výrobku zábavní pyrotechniky podle navrženého algoritmu

K ověření nebezpečnosti podle výše uvedeného algoritmu byla z časových a finančních důvodů vybrána záblesková petarda určená ke světelnému a zvukovému efektu. Princip její funkce je následující: iniciací zelené zápalnice dojde k zahoření pyrotechnické složky pro zelené světlo, po jejím dohoření následuje s určitým zpožděním zahoření zábleskové složky, nastává zvukový efekt.

3.1.1 Posouzení podle algoritmu

1. Obsah potenciálně nebezpečných pyrotechnických složek

Na základě odborného rozboru bylo zjištěno, že záblesková petarda obsahuje dva typy složek. Slož pro zelené světlo a slož zábleskovou, která byla vytypovaná jako slož potenciálně nebezpečná.

2. Hmotnostní koncentrace složek ve výrobku

Celková hmotnost výrobku je 19 g.

Hmotnost složky pro zelené světlo je přibližně 1,18 g.

Hmotnost složky zábleskové je přibližně 2,31 g.

Celková hmotnost všech složek ve výrobku je tedy 3,49 g.

Zelená zápalnice sloužící k iniciaci nebyla v celkové hmotnosti složek uvažována.

Výpočtem bylo zjištěno, že hmotnostní koncentrace pyrotechnických složek ve výrobku je 18,4 %. Tato hodnota sice není nijak alarmující, ale právě proto je výrobek vhodný k dalšímu hodnocení a následně i testování.

3. Posouzení z hlediska celkového balení

Jedno prodejní balení obsahuje 20 ks zábleskových petard a karton pak obsahuje 50 těchto balení. Jednotlivá balení jsou konstruována tak, aby působily jako papírové dělicí přepážky. Celková hmotnost kartonu (uvedená na obalu) je 21,5 kg a má označení třídy pro přepravu nebezpečných věcí 1.3G. V kartonu je uloženo 1 000 ks zábleskových petard, které společně obsahují 3,49 kg všech pyrotechnických složek. Výpočtem zjistíme, že hmotnostní koncentrace složek u celého kartonu je 16,6 %. Dle očekávání bylo prokázáno, že karton a obalový materiál výrobků snížil hmotnostní koncentraci pyrotechnických složek o 1,8 %.

4. Posouzení výrobku z hlediska ceny

Průměrná cena jednoho balení, které obsahuje 20 ks zábleskových petard se pohybuje v rozmezí 130 – 170,- Kč včetně DPH. Budeme-li uvažovat, že jedna záblesková petarda obsahuje 2,3 g zábleskových složek, potom z jednoho balení je možné získat 46 g zábleskové složky. V tabulce 9 je pro ilustraci ukázáno, jaké finanční prostředky je

třeba mít pro pořízení 0,5 kg, 1 kg, 10 kg a 100 kg zábleskové složky. Z uvedené tabulky vyplývá, že pořizovací náklady jsou značně vysoké.

Tab. 9 – Finanční dostupnost zábleskové složky z testovaného výrobku.

Finanční dostupnost zábleskové složky	
množství zábleskové složky	pořizovací cena 150,-Kč s DPH/balení
0,5 kg	1 650,- Kč
1 kg	3 300,- Kč
10 kg	32 700,- Kč
100 kg	326 100,- Kč

5. Způsob iniciace a zvýšení možných účinků výbuchu

Zábleskové petardy byly vybaleny z papírového obalu a odpovídajícím způsobem upraveny (pro společnou iniciaci) tak, aby došlo k ověření možnosti jejich hromadného výbuchu. Pro zesílení účinků i zlepšení přenosu výbuchu z petardy na petardu je uvažováno s možností, že by mohly útočníky být vloženy do kovového obalu.

3.1.2 Vlastní experiment

Pro experiment bylo použito celkem 24 ks vhodně upravených zábleskových petard, které byly zasunuty (obr. 4) do ocelové vodovodní trubky o vnitřním průměru 2" (5 cm) a délky 37 cm, opatřené na obou koncích závitem a uzavřené litinovým uzávěrem. Tento obal je poměrně typická a notoricky známá „pipe bomb“ – trubková bomba, design velmi často teroristy a extremisty používaný. Jeden litinový uzávěr měl vyvrtaný otvor o průměru 8 mm pro vsunutí iniciační žejníní zápalnice. Délka této zápalnice byla stanovena na 2 m a její konec byl opatřen počínem černého prachu, pro spolehlivé zapálení výrobků. Po iniciaci zápalnice a uplynutí určeného zpoždění byl pozorován hromadný výbuch všech zábleskových petard.



Obr. 4 – Příprava experimentu.

3.1.3 Zhodnocení experimentu č. 1

Konstrukce zábleskové petardy je tvořena takovým způsobem, že při iniciaci a výbuchu jednoho kusu, brání papírový obal přenosu na kusy další. Ovšem experimentem bylo prokázáno, že budou-li výrobky vhodně upraveny a vloženy do pevného obalu, může dojít za určitých podmínek k hromadnému výbuchu i ve větším měřítku. Experiment prokázal funkčnost výše navrhnutého přístupu a bohužel i to, že výrobky s nízkým obsahem zábleskové složky pod 18 hm. % jsou za určitých podmínek schopné hromadného výbuchu.

3.2 Experiment č. 2, zábavní pyrotechnika jako potenciální zdroj nebezpečných pyrotechnických složek

S druhou částí experimentu se původně neuvažovalo. Impulzem pro zařazení do práce a jeho realizaci byl až bombový útok v Bostonu (popsán v kapitole o mimořádných událostech). Zábavní pyrotechnika může mít určitý ničivý potenciál související s hromadným výbuchem, ale vzhledem k události v Bostonu je o ní třeba uvažovat také jako o možném zdroji komponent pro nástražné výbušné systémy. Vezmeme-li například v úvahu, že průměrná záblesková petarda kategorie 3 obsahuje 2 g zábleskové složky (maximum může být až 5 g), to znamená, že z 1 000 ks petard získáme 2 000 g zábleskové složky. Stejným způsobem můžeme uvažovat také o černém prachu, který je součástí většiny výrobků zábavní pyrotechniky jako výmetná složka. Cílem experimentu je prokázat, že extrakce složek ze zábavní

pyrotechniky společně s vhodně upravenými výrobky zábavní pyrotechniky mohou mít podobné ničivé účinky, jaké měl bombový útok v Bostonu.

3.2.1 Popis experimentu

Z bezpečnostních důvodů nebude přesný postup experimentu v práci uveden, ale bude přesně popsán komisi při obhajobě této práce. Na základě algoritmu byly vybrány výrobky zábavní pyrotechniky kategorie 2 a 3, jejichž příklad můžete vidět na obr. 5. Tyto výrobky a složky byly umístěny pro zesílení účinku do tlakového hrnce společně s hřebíky délky 50 mm pro zvýšený střepinový efekt (obr.6). Pro sledování účinků výbuchu bylo použito 6 ks terčů vyrobených z plošného truhlářského materiálu MDF (sololit), o síle 3 mm a o rozměrech 170×50 cm. Pro výztuhu terče bylo použito 2 ks borových dřevěných latí o délce 2 m a šířce strany 2,5 cm. Vzdáleny od místa exploze byly od dvou do pěti metrů a pro jejich ukotvení do země bylo použito oceloplechových „L“ profilů o šířce strany 30 mm a délce 500 mm. K roznětu byla opět použita ženijní zápalkice o délce 2 m.

Po výbuchu byly dva tyto terče zcela zničeny, zbylé terče byly různým způsobem narušeny. Střepiny z tlakového hrnce byly nalezeny i ve vzdálenosti 70 m od místa exploze. Fotky z tohoto experimentu jsou uvedeny v příloze.



Obr. 5 Příklad výrobků zábavní pyrotechniky použitých při experimentu.



Obr. 6 – Tlakový hrnec s obsahem před experimentem.

3.2.2 Zhodnocení experimentu č. 2

Byl prokázán možný potenciál zneužití výrobků zábavní pyrotechniky k realizaci útoku například podobného typu, jako byly nyní spáchány v Bostonu. Z uvedeného vyplývá, že pokud není zábavní pyrotechnika k těmto účelům již nyní používána, je to pouze z důvodů, že útočníci mají jiné, lepší a snadněji dostupné zdroje.

3.3 Dostupnost výrobků profesionální pyrotechniky

Výrobky profesionální pyrotechniky třídy IV a kategorie 4 by měly být dostupné pouze odpalovačům ohňostrojů, na základě předložení platného průkazu odpalovače ohňostrojů nebo po předložení odběrního povolení vydaného Báňským úřadem. Za účelem nákupu zábavní pyrotechniky kategorií 1, 2 a 3 byla navštívena tržnice v Brně na Olomoucké ulici a také nákupní centrum Excalibur v Hatích u Znojma. Kromě výrobků zábavní pyrotechniky, zde byly objeveny také výrobky pyrotechniky profesionální. Na obou tržnicích byla pořízena kulová puma ráže 150 mm a dělové rány ohňostrojné. Oba druhy pyrotechniky obsahují velké množství potenciálně nebezpečných pyrotechnických složek. Díky snadné dostupnosti této pyrotechniky se také zvyšuje možnost jejího potenciálního zneužití. Nakoupené výrobky můžete vidět na obr. 7.



Obr. 7 – Nelegálně prodávaná profesionální pyrotechnika.

4 ZÁVĚR

V této práci byl navržen základní postup výběru potenciálně nebezpečných pyrotechnických výrobků v pěti bodech. Provedený experiment prokázal, že je daný algoritmus výběru funkční a lze na jeho základě posuzovat potenciální nebezpečnost výrobků zábavní pyrotechniky. Tento základní přístup lze ještě dále rozvíjet například doplněním vhodných kritérií pro kvantifikaci nebezpečnosti a ověřením dalších, podstatně nebezpečnějších scénářů. Dále tato práce poukázala na to, že zábavní pyrotechnika sice je potenciálním zdrojem nebezpečných látek, ale jejich získávání z výrobků či jejich úprava jsou zatím poměrně pracné a finančně náročné. V dnešní době jsou navíc ještě stále dostupné jiné, levnější a snadněji dostupné zdroje. Informace uvedené v této práci možná někoho pobouří, že jde o ukazování možných cest pro případné teroristické či jiné útoky nebo jako možné navádění k nim. Od jakýchkoliv podobných aktivit se zcela kategoricky distancuji a práci chci pouze poukázat na existující možný problém. Žádné zásadní informace, které byly vyhodnoceny jako nové a potenciálně nebezpečné, nejsou v této práci uvedeny. Práce by měla sloužit jako pomůcka pro bezpečnostní složky k zamyšlení se nad možností zneužití výrobků zábavní pyrotechniky a to z pohledu člověka, který není studovaný odborník v oboru pyrotechniky a výbušnin. To by mohlo být přínosnější, než kdyby práci řešil profesionál. Navíc je hodně pravděpodobné, že útoky plánující osoby a hlavně jejich odborní pomocníci jsou na takové úrovni, že žádné obecné práce jako je tato, již pro ně nebude žádnou novinkou.

5 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

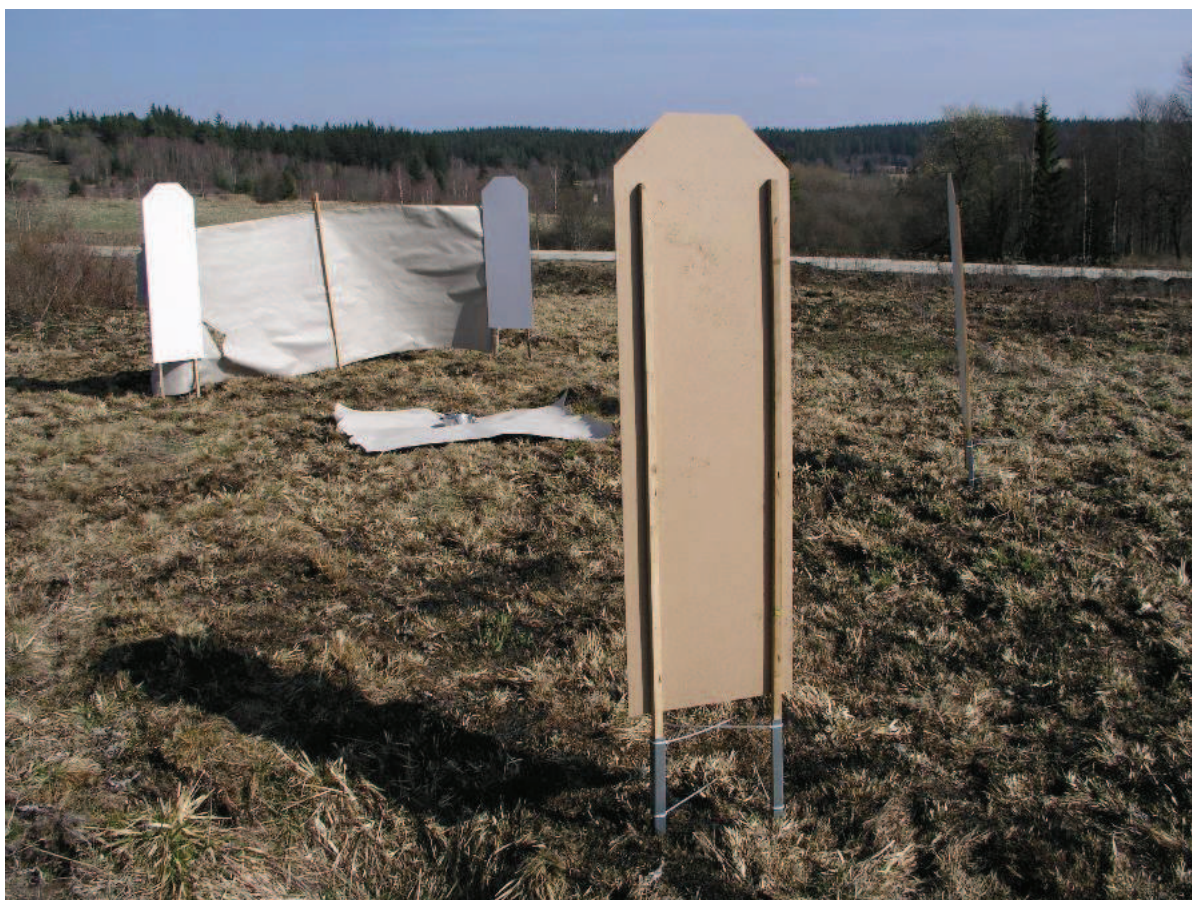
- [1] PITSCHMANN, Vladimír. Šamani, alchymisté, chemici a válečníci: kapitoly z dějin chemických, toxinových a zápalných zbraní : období od prehistorie do roku 1914. 1. české vyd. Praha: Naše vojsko, 2010, 482 s., [120] s. obr. příl. ISBN 978-80-206-1110-9.
- [2] Alfred Nobel. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Alfred_Nobel
- [3] Trinitrotoluen. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/TNT>
- [4] KOLEKTIV AUTORŮ. *Speciální Technika*. 1. vyd. Praha a Brno: FMVS Praha a GŘt ZVS Brno, 1976, 536 s. 59-154-75.
- [5] Airbag. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Airbag>
- [6] Hans Goldschmidt. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Hans_Goldschmidt
- [7] PITSCHMANN, Vladimír. Chemici v laboratoři a na bitevním poli: kapitoly z dějin chemických, toxinových a zápalných zbraní : období od roku 1914 do roku 1945. Praha: Naše vojsko, 2012, 615 s., [56] s. obr. příl. ISBN 978-80-206-1298-4.
- [8] *Výbušniny*. 1. vyd. Polička: Odborný institut speciální techniky, 2005, 61 s.
- [9] ČESKO. VYHLÁŠKA č.174 Českého báňského úřadu ze dne 16.března 1992 o pyrotechnických výrobcích a zacházení s nimi. In: *Zákon České národní rady č.61/1988 Sb., o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě*. 1992.
- [10] ČESKO. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2007/23/ES ze dne 23.května 2007: o uvádění pyrotechnických výrobků na trh. In: *Úřední věstník Evropské Unie*. 2007, L 154/1.
- [11] ČESKO. Zákon č.156 ze dne 18.května 2000 o ověřování střelných zbraní, střeliva a pyrotechnických předmětů a o změně zákona č. 288/1995Sb., o střelných zbraních a střelivu (zákon o střelných zbraních), ve znění zákona č. 13/1998 Sb., a zákona č. 368/1992 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů. In: *SBÍRKA ZÁKONŮ*. 2000, částka 49.

- [12] ČESKO. Nařízení vlády č.208 ze dne 14.června 2010 o technických požadavcích na pyrotechnické výrobky a jejich uvádění na trh. In: *SBÍRKA ZÁKONŮ*. 2010, částka 70.
- [13] ČSN EN 15947. *Pyrotechnické výrobky – Výrobky zábavní pyrotechniky, kategorie 1, 2 a 3*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [14] ČSN EN 16261. *Pyrotechnické výrobky – Výrobky zábavní pyrotechniky kategorie 4*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [15] ČSN EN 16256. *Pyrotechnické výrobky – Divadelní pyrotechnické výrobky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [16] EN 16263. *Pyrotechnic articles – Other pyrotechnic articles*. Wien: Austrian Standards Institute, 2011.
- [17] EN ISO 14451. *Pyrotechnic articles – Pyrotechnic articles for vehicles*. 2011.
- [18] EN 16265. *Pyrotechnic articles – Other pyrotechnic articles: Ignition devices*. Wien: Austrian Standards Institute, 2011.
- [19] ČESKO. Zákon č.61/1988 Sb., o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě, ve znění pozdějších předpisů. In: *SBÍRKA ZÁKONŮ*. 1988.
- [20] NĚMČÁK, Ondřej. Výrobky automobilní pyrotechniky jako potenciální zdroj komponent pro NVS: Sborník přednášek. In: Boletice: Mezinárodní setkání pyrotechniků INMEP, 2008.
- [21] *Explosion of a fireworks warehouse*. French Sustainable Development Ministry - DGPR / SRT / BARPI. 2009. č. 17730. url: http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/ressources/17730_enschede_ih_gb_031209.pdf
- [22] ČTK. Hasiči dohasili požár tržnice v Hatích: Škoda je 40 miliónů. [online]. [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: <http://www.novinky.cz/krimi/104614-hasici-dohasili-pozar-trznice-v-hatich-skoda-je-40-milionu.html>
- [23] PROCHÁZKOVÁ, Kateřina. Na mostě v Číně vybuchlo auto s pyrotechnikou, je nejméně 5 mrtvých. In: [online]. [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: http://www.rozhlas.cz/zpravy/asieaustralie/_zprava/1169617
- [24] ČTK. Požár nočního klubu v Brazílii má 232 obětí. In: [online]. [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: <http://www.ceskenoviny.cz/zpravy/pozar-nocniho-klubu-v-brazilii-ma-232-obeti/894191>

- [25] KOZELKA, Petr a Aleš FUKSA. Mladíci v Brně na Silvestra odpálili kulovou pumu přímo mezi lidmi. In: *Novinky.cz* [online]. [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: <http://www.novinky.cz/krimi/255022-mladici-v-brne-na-silvestra-odpalili-kulovou-pumu-primo-mezi-lidmi.html>
- [26] V cíli maratónu v Bostonu vybuchly bomby, zemřeli tři lidé. In: *Novinky.cz* [online]. [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: <http://www.novinky.cz/zahranicni/amerika/299150-v-cili-maratonu-v-bostonu-vybuchly-bomby-zemreli-tri-lide.html>
- [27] NOVÁK, Martin. Útočníci volili primitivní bomby, dopadení bude těžké. In: [online]. aktuálně.cz, 2013 [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: <http://aktualne.centrum.cz/zahranici/amerika/clanek.phtml?id=777153>
- [28] Cheddite. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2013 [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Cheddite>
- [29] URBÁŇSKI, Tadeusz. Chemie a technologie výbušin: určeno pro studenty vys. škol a inž. pracovníky ve výrobě i výzkumu výbušin. 1. vyd. Praha: SNTL, 1959, 424, [2] s.
- [30] MCLAIN, Joseph Howard. *Pyrotechnics. From the viewpoint of solid state chemistry*. Philadelphia, Pa., the Franklin institute press: Franklin Institute Press, 1980. ISBN 08-916-8032-2.
- [31] KRONE, U., TREUMANN, H. *Pyrotechnic Flash Compositions*. Propellants, Explosives, Pyrotechnic. 1990. roč. 15. č. 3. vyd. WILEY-VCH Verlag GmbH.. strany 115-120. issn 1521-4087
- [32] SHIMIZU, Takeo. *Fireworks: The Art, Science and Technique*. Austin: Pyrotechnica Publications, 1996, 344 s. ISBN 09-293-8805-4.
- [33] Germany. *Literature review of fireworks compositions, propagation mechanisms, storage legislation and environmental effects*. In: *CHAF Workpackage*. Německo, Berlín, 2003, č. 4. Dostupné z: <http://www.pyrobin.com/files/european%20firework%20testing%20reports,%20bam%20etc.pdf>
- [34] LANCASTER, Ronald. *Fireworks: principles and practice*. 3. ed. New York: Chemical Publ. Co, 1998. ISBN 08-206-0354-6.]
- [35] BRUNEL, Didier. *Le grand livre des feux d'artifice*. Paris: CNRS, 2004, 312 p. ISBN 22-710-6192-X.

- [36] NĚMČÁK, Ondřej. *Improvizované zápalné a otravné systémy*. Pardubice, 1996. Diplomová práce. Univerzita Pardubice-Katedra teorie a technologie výbušnin.
- [37] NĚMČÁK, O. *E-mail* (2013-03-16).
- [38] NĚMČÁK, O. *E-mail* (2013-04-17).
- [39] ŠIDLOVSKIJ, A. *Základy pyrotechniky*. 1. vyd. Praha: Naše vojsko, 1957, 285 s., 1 tb.
- [40] NĚMČÁK, O. *E-mail* (2013-04-15).
- [41] DMD SYSTEMS, LLC. *Low-smoke nitroguanidine and nitrocellulose based pyrotechnic composition* [patent]. Přihláška, EP 1387818 A2. Uděleno 1.4.2002. Zapsáno angličtina. Dostupné z: <http://www.google.com/patents/EP1387818A2?cl=en>
- [42] LIBIGER, Milan. Šéf masokombinátu připravil dodavatele o 70 milionů, pak podnik někdo zapálil. In: *IDNES.cz: Zlínský kraj* [online]. 1. vyd. 2011 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: http://zlin.idnes.cz/sef-masokombinatu-pripravil-dodavatele-o-70-milionu-pak-podnik-nekdo-zapalil-17n-/zlin-zpravy.aspx?c=A110117_155513_zlin-zpravy_sot
- [43] JANÍČEK, Miroslav a Petr DRAHOVZAL. *Pyrotechnik v boji proti terorismu*. 1. vyd. Praha: DEUS, 2001, 175 s. ISBN 80-862-1517-2.
- [44] VONÁSEK, V. *E-mail* (2013-04-22).
- [45] ČESKO. ADR 2013: Evropská dohoda o silniční přepravě nebezpečných věcí. In: EHK výbor pro vnitrozemskou dopravu, 2012. Dostupné z: http://www.mdcz.cz/cs/Silnicni_doprava/Nakladni_doprava/adr/ADR+2013+-+ke+sta%C5%BEen%C3%AD/ADR+2013.htm
- [46] WIRNITZER, Jan a GABZDYL. Výbuch zdemoloval bytovku ve Frenštátě, neštěstí má už pět obětí. In: *IDNES.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: http://zpravy.idnes.cz/vybuch-plynu-ve-frenstatu-dcl-/domaci.aspx?c=A130217_080908_ostrava-zpravy_jw
- [47] CHEMICOOOL. *Definition of Detonation* [online]. 2013 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.chemicool.com/definition/detonation.html>

6 PŘÍLOHY



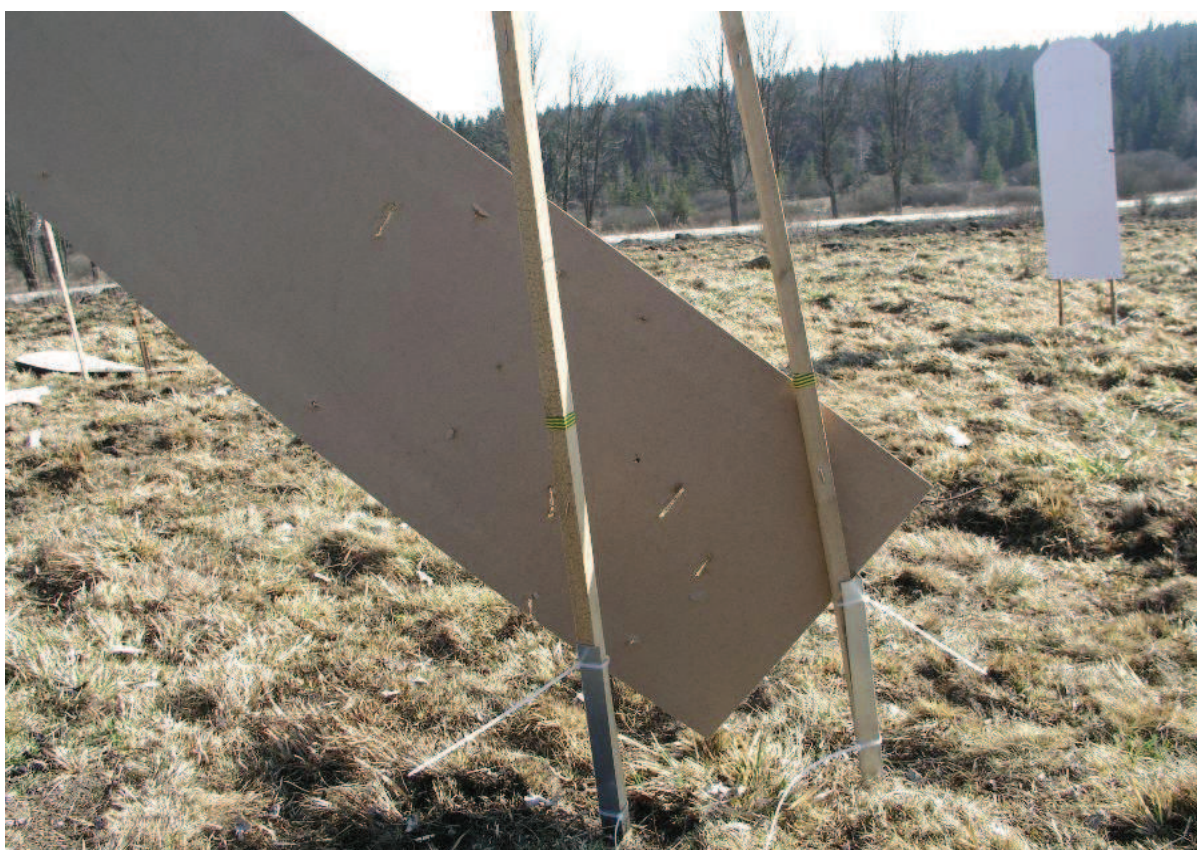
Obr. 8 – Detail terče před experimentem s tlakovým hrncem.



Obr. 9 – Výbuch tlakového hrnce, snímek 1.



Obr. 10 – Výbuch tlakového hrnce, snímek 2.



Obr.11 – Od letících fragmentů narušený terč.



Obr. 12 – Zničený terč po výbuchu tlakového hrnce.